



TITLE:

中小河川治水計画における計画降雨と計画高水に関する研究(
Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

鎌田, 萬

CITATION:

鎌田, 萬. 中小河川治水計画における計画降雨と計画高水に関する研究.
京都大学, 1977, 工学博士

ISSUE DATE:

1977-01-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r3246>

RIGHT:

中小河川治水計画における
計画降雨と計画高水に関する研究

昭和51年8月 鎌田 高

中小河川治水計画における
計画降雨と計画高水に関する研究

昭和 51 年 8 月

鎌 田 萬

目 次

第1章 概 論	1
第1節 中小河川治水事業の現況とその問題点	1
第2節 本研究の目的とその概要	14
参考文献	17
第2章 計画降雨の推定に関する従来の研究	18
第1節 降雨強度推定法の分類と考察	18
第2節 短時間確率降雨強度式の算定法と考察	21
1. 短時間確率降雨強度式の算定法	21
2. 降雨資料の抽出と確率統計解析	24
3. 四国各地の短時間確率降雨強度式の解析と考察	32
第3節 長時間確率降雨強度式の算定法と考察	41
1. 長時間確率降雨強度式の算定法	41
2. 四国各地の長時間確率降雨強度式の解析と考察	43
第4節 結語	48
参考文献	50
第3章 中小河川に適用する計画降雨の合理的算定法とその考察	52
第1節 中時間確率降雨強度式の算定法	52
第2節 四国各地の中時間確率降雨強度式の解析と考察	55
1. 中時間確率降雨強度式の解析	55
2. 中時間確率降雨強度式の考察	63
3. 四国各地の確率降雨強度曲線	65
第3節 中時間確率ハイエトグラフの算定法	71
第4節 四国各地の中時間確率ハイエトグラフの解析と考察	74

1. 中時間確率ハイエトグラフの解析	74
2. 中時間確率ハイエトグラフの考察	81
第5節 降雨情報の任意地点への変換解析と考察	81
第6節 結語	86
参考文献	88
第4章 中小河川に適用する計画高水の算定法とその考察	89
第1節 計画高水流量の推定に関する従来の研究	89
1. 経験公式	89
2. 理論的考察による式	99
第2節 計画高水流量の算定法	101
1. 合理法の基本概念	101
2. 洪水到達時間の算定	102
3. 計画降雨強度の算定	109
4. 流出係数の決定	110
第3節 香川県内主要河川の計画高水流量の解析と考察	111
1. 計画高水流量の解析	111
2. 計画高水流量の考察	117
第4節 計画ハイドログラフの解析法	120
1. 単位図法	120
2. Kinematic wave 法	125
第5節 香川県内代表河川の計画ハイドログラフの解析と考察	129
1. 単位図法による解析と考察	129
2. Kinematic wave 法による解析と考察	141
第6節 結語	144
参考文献	148
第5章 結論	151

正 誤 表

頁	行	正	誤
4	下より11	不可欠	不可決
74	上より9	表— 2.2.5	表— 2.3.5
117	下より4	計画高水流量	計画高水量
119	上より4	図— 4.3.2	図— 4.3.1
119	図 面	図— 4.3.2	図— 4.3.1
148	上より1	V. T. Chow	U. T. Chow

第 1 章 概 論

第 1 節 中小河川治水事業の現況とその問題点

わが国の、水による災害は、激甚で、近年の年平均風水害額は、概数にして 5,000 億円を上回る現状である。

この主なる原因^{1)~4)}については、わが国土の宿命的な自然環境条件が、災害を発生しやすくしていること、および、近年、日本経済の高度成長が、国土保全と不調和であり、しかも、従来の治水事業が、直轄工事重点主義であったことなどがあげられる。

すなわち、わが国土においては、毎年数回、台風の来襲をうけ、また、近年、経済の過激な発展は、狭い国土に都市、および、その周辺地域を中心とした乱開発を促進し、このため、国土は、水災害に対しても、その抵抗力が、ますます弱体化をしてきている。しかるに、国土保全事業は、この急速な社会開発に即応できていない実状となっている。

いま、わが国の治水史⁴⁾を回顧してみると、治水の歴史は、農耕と切りはなしては論じることのできない、水災害との戦いであった。しかしながら、その対象となった河川は、国内の重要な大河川の直轄工事の歴史でもあった。

すなわち、古く「日本書紀」には、仁徳天皇の頃、淀川の下流で現在の旧淀川にあたると考えられる難波の堀江が開削、洪水の疎通が図られ、また、枚方の左岸堤に相当すると思われる茨田堤の修築が行なわれたと、記されている。また、室町時代の中期になると、中央幕府の威力が衰え、諸国の豪族たちが、その領土の拡大のため、治水工事を盛んに行ない、とくに、武田信玄が、釜無川の治水工事をしたことは、有名である。江戸時代になると、天下は、安泰し、平和な時代となり、その軍備の余力は、治水に向けられ、淀川、利根川、木曾川、庄内川、荒川などの大河川の治水工事が行なわれた。そのうち、特筆すべきものには、利根川の付替工事があった。

つぎに、明治政府になってからは、明治 7 年、内務省に土木寮を設置し、明治 29 年、河川法(旧法)を制定し、大河川の直轄工事の制度化を図り、重要な大河川、淀川、利根川、信濃川、木曾川、北上川、阿賀野川、筑後川、最上川、吉野川、大井川、富士川、庄川、阿武隈川、天竜川などの治水事業を順次、直轄工事として着手してきた。このよ

にみえてくると、大正、昭和の終戦まで、国内の重要な大河川の治水は、直轄工事として行なわれてきたが、都道府県の管理している中小河川（河川の規模が中小級のものの）の治水工事は、ほとんど、行なわれていなかったといえよう。ただ、昭和8年になって、農山漁村振興土木事業、および、時局匡救土木事業の制度が設けられ、中小河川の改修に、始めて、国庫補助の途が開かれたが、これも、財源難のこと、事業の促進までは、図られなかった。

昭和20年、終戦を契機として、わが国の政治体制は、一変し、内務省国土局は、建設省となり、河川局が設置され、時 ちょうど、大型台風による大水害が続出し、また、戦時中の荒廃した河川の復旧再建と国土開発、および、水資源開発などの諸問題が台頭し、治水事業の再検討が行なわれ、従来、実施されてきた重要河川の直轄工事と併行して、始めて、地方の中小河川にも、計画的な治水事業の実施、促進を図るべき途が開かれるに至った。

そして、昭和30年代には、日本経済の高度成長が急激な社会開発を惹起し、この水災害対策として、全国的に、治水事業の緊急性を迫り、政府は、昭和34年、「治山治水緊急措置法」、また、昭和40年、「新河川法」を制定し、河川を水系別に、一級河川と二級河川に区分し、その管理者、事業の主体者、および、費用負担について、明確な制度化を図った。この2つの法律の制定を契機に、ようやく、わが国の治水事業は、地方の中小河川にも、本格的な事業の実施、促進の途が開かれるようになった。そして、現在、第四次治水事業五ヶ年計画策定⁵⁾のもと、直轄工事、約130河川、中小河川改修と小規模河川改修事業を実施している河川、約1,500河川において、治水事業が実施、促進されている。

以上、わが国の治水史からもわかるごとく、国内の重要な大河川については、古くから治水工事が行なわれて、現在、これら河川の重要箇所は、ほとんど、改修も完了し、全体的な改修率も高いことに比し、都道府県の管理している中小河川については、まだ、その歴史も新しく、いづれの河川もすべて、改修率は、非常に低いのが現状である。

この事実が、現在、地方都市周辺の急激な社会開発に対応し、治水事業の遅れとなり、また、水災害の大原因ともなっている。したがって、現在、わが国の治水対策については、中小河川、とくに、地方都市周辺の中小河川の治水事業の実施、促進が急務となっていることは、過言ではない。

なお、参考のために、わが国の治水事業⁵⁾5ヶ年計画の投資規模については、つぎの表-1・1・1、また、昭和50年度の河川事業費、および、箇所数⁶⁾については、表-1・1・2に示すことにした。

表-1・1・1 治水事業五ヶ年計画の投資規模

(単位：億円)

区 分	十 ヶ 年 計 画		第二次 五ヶ年計画	第三次 五ヶ年計画	第四次 五ヶ年計画
	前期五ヶ年	後期五ヶ年			
計 画 期 間	昭(35~39)	昭(40~44)	昭(40~44)	昭(43~47)	昭(47~51)
治 水 事 業	3,650	4,850	8,500	15,000	30,000
地 方 単 独 災害関連事業など	350	350	1,500	3,000	6,000
予 備 費	-	-	1,000	2,500	4,500
治 水 投 資	4,000	5,200	11,000	20,500	40,500

表-1・1・2 昭和50年度事業別事業費、箇所数調(47~50年度)

(a) 事業費

(単位：百万円)

区 分		47年度	48年度	49年度	50年度
直 轄	改 修	137,147	129,007	129,266	125,578
	維 持 修 繕	8,572	7,750	9,238	11,623
	環 境 整 備	3,322	3,350	3,699	3,862
	調 査	960	1,555	1,650	1,848
	計	150,001	141,662	143,853	142,911
補 助	中 小 河 川	85,848	83,168	82,771	85,585
	小 規 模 河 川	25,505	24,559	24,341	25,123
	局 部 改 良	16,137	15,750	16,755	17,070
	都 市 小 河 川	9,081	11,550	11,694	12,270
	高 潮 対 策	15,990	16,150	15,180	15,180
	環 境 整 備	2,529	2,671	2,916	3,144
	地 盤 沈 下	1,545	1,730	1,860	2,245
	耐 震 対 策	1,750	1,630	1,630	1,630
	治 水 緑 地	-	500	690	1,100
	防 災 調 節 池	-	400	430	600
	修 繕	813	768	891	1,074
	計	159,198	158,876	159,158	165,021
合 計		309,199	300,538	298,483	307,932

(b) 箇所数

区 分		47 年 度			48 年 度			49 年 度			50 年 度		
		継 続	新 規	計	継 続	新 規	計	継 続	新 規	計	継 続	新 規	計
直 轄	改 修	124	0	124	124	0	124	123	0	123	123	1	124
	維 持 修 繕	116	0	116	116	0	116	116	0	116	116	1	117
	環 境 整 備	22	14	36	36	16	52	52	14	66	65	13	78
補 助	中 小 河 川	551	39	590	575	36	611	601	37	638	633	36	669
	小 規 模 河 川	621	73	694	651	79	730	691	78	769	739	78	817
	局 部 改 良	1,063	205	1,268	1,085	294	1,379	1,195	259	1,454	1,345	262	1,607
	都 市 小 河 川	11	5	16	16	5	21	21	4	25	25	5	30
	高 潮 対 策	5	3	8	8	0	8	8	1	9	9	2	11
	環 境 整 備	36	15	51	51	20	71	70	19	89	85	18	103
	地 盤 沈 下 対 策	2	0	2	2	1	3	3	3	6	6	0	6
	耐 震 対 策	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
	治 水 緑 地	—	—	—	0	1	1	1	5	6	6	1	7
	防 災 調 節 池	—	—	—	0	2	2	2	1	3	3	0	3
	修 繕	106	1	107	107	0	107	107	0	107	107	0	107

ところで、こうした中小河川の治水事業の実施、促進にあたっては、その治水計画の策定が不可決である。しかし、ここにおいても、現況は、多くの問題点を指摘しなければならない。すなわち、治水計画にあたっては、その河川の計画基準地点における基本高水を設定しなければならないが、その現況と問題点を述べると、以下のようである。

- (1) 現在、急激な社会開発に即応し、治水事業の緊急な促進に迫られている河川は、大河川でなく、中小河川、とくに、地方都市周辺の中小河川である。
- (2) その中小河川の規模は、大多数の河川が流域面積100 km²以下、洪水到達時間6時間以内の河川である。
- (3) 治水計画策定の計画高水解析法については、種々の手法があるが、中小河川の場合は、有効な水文資料が降雨量に依存せざるをえない現在、一般に、計画降雨を用いて解析することになっている。したがって、この計画降雨を定める手法については、簡単、かつ、実用的で、適合度の高い算定法が要求されている。

- (4) 計画高水流量設定の計画降雨強度式の算定法については、大多数の河川規模は、洪水到達時間が0.5時間から6時間であるので、その算定法は、この時間帯において、簡単、かつ、実用的で、適合度の高い算定法であることが要求されている。
- (5) 計画ハイドログラフ設定の計画ハイトグラフの算定法についても、おなじく、上記の時間帯において、簡単、かつ、実用的で、適合度の高い算定法であることが要求されている。
- (6) つぎに、中小河川の治水計画にあたっては、往々にして、その対象流域内に、十分な降雨資料の整備がなされていない場合が多く、何らかの形で得られている降雨情報を、その流域に変換する必要が発生する。よって、これらに関する研究が要求されている。
- (7) 中小河川の治水計画策定に必要な洪水到達時間の算定については、中小河川は、流路延長が短少、河川勾配も多種多様で、その適正、妥当な算定が非常に困難である。よって、これらに関する研究が要求されている。
- (8) 中小河川の治水計画策定に必要な計画高水の解析については、中小河川は、その流量資料が皆無に近く、期待することができないので、これに対応した解析法に関する研究が要求されている。

以上のごとく、国の直轄で治水事業を実施している大河川については、その治水計画は、従来から、多くの人達により、研究、計画が行なわれ、また、水文資料も充分整備されているので、その計画は、体系化されてきている。しかしながら、中小河川の治水計画については、都道府県が事業主体となり、また、その計画は、水文資料においても未整備のものが多く、体系化がなされず、そのたびごとに行なわれ、また、上記の問題点についても、研究が非常に遅れている現状である。したがって、中小河川の治水事業の促進については、上で指摘した問題点に関する研究が必要不可欠となっている。

なお、参考までに、四国四県の中小河川における治水計画諸元^{7)～12)}の現況を表-1・1・3から表-1・1・6に、一括表示しておく。

表-1・1・3 香川県河川改修事業実施河川の治水計画諸元

河 川 名	流域面積	流路延長	洪水到達時間		計
			算 定 式	時 間	算 定 式
清 水 川	2.7 ^{km²}	1.4 ^{km}	Rziha	1.0 ^{hr}	岩 井 法
御 坊 川	31.6	6.4	Kraven Manning	1.7	Gumbel
財 田 川	155.5	32.5	Rziha	4.8	岩 井 法
鴨 部 川	68.0	22.2	〃	3.0	〃
大 束 川	55.1	17.2	〃	4.5	〃
一 の 谷 川	19.4	8.0	〃	2.5	M 42.9.1
春 日 川	62.9	15.1	〃	3.5	岩 井 法
新 川	69.0	18.7	〃	4.0	〃
高 瀬 川	37.5	11.8	Rziha Kraven	2.0	〃
本 津 川	51.1	15.9	〃	2.0	〃
弘 田 川	33.7	10.4	〃	1.5	Gumbel
綾 川	102.0	21.5	〃	2.2	〃
摺 鉢 谷 川	3.5	4.1	Kraven	1.0	〃

画 雨 量		流 出 率	計 画 高 水 流 量		
確率年	雨量強度		算 定 式	流 量	比 流 量
1/70	mm/hr 73.1	0.7	Rational	m^3/sec 40	$\text{m}^3/\text{sec/km}^2$ 15.0
1/50	48.7	0.8	"	265	8.4
1/50	32.2	山地 0.75 平地 0.60	"	900	6.7
1/50	42.5	山地 0.8 平地 0.6	"	540	7.9
1/70	28.1	山地 0.9 平地 0.6	"	320	5.8
実 績	38.7	山地 0.8 平地 0.6	"	130	6.6
1/50	33.4	"	"	520	8.3
1/50	30.6	"	"	560	8.1
1/50	41.0	0.76	"	380	10.1
1/50	53.9	0.64	"	500	9.8
1/70	68.7	山地 0.8 平地 0.6	"	370	11.0
1/100	47.8	"	"	1,050	10.3
1/30	57.0	0.8	"	45	12.9

表-1・1・4 高知県河川改修事業実施河川の治水計画諸元

河 川 名	流域面積	流路延長	洪水到達時間		計
			算 定 式	時 間	
	km ²	km		hr	
日 下 川	38.0	10.0	Kraven Manning	2.0	Thomas
松 田 川	230.6	44.0	Kraven	3.5	〃
波 介 川	73.0	6.2	〃	1.4	Hazen
紅 水 川	4.0	3.5	〃	0.5	〃
吉 見 川	13.8	6.0	Rziha	1.0	〃
江 の 口 川	1.0	0.8	Kinematic- wave	0.7	岩 井 法
香 宗 川	28.8	13.2	Rziha	1.5	既往第2位
鏡 川	149.5	22.5	〃	3.0	Hazen
宗 呂 川	39.4	14.7	〃	2.0	〃
新 川 川	25.4	7.4	〃	1.0	〃
渡 川	280.4	47.2	〃	5.0	〃
岩 田 川	38.7	16.3	〃	2.5	〃

画 雨 量		流 出 率	計 画 高 水 流 量		
確率年	雨量強度		算 定 式	流 量	比 流 量
	mm/hr			m ³ /sec	m ³ /sec/km ²
1/30	66.0	0.8	Ratioal	560	14.7
1/50	50.0	0.8	〃	2,600	11.3
1/30	51.7	0.75	〃	420	5.8
1/50	145.0	0.8	〃	130	32.2
1/50	80.0	0.8	〃	250	18.1
1/50	130.0	0.8	〃	30	30.0
—	77.0	0.8	〃	410	14.2
1/100	70.0	0.75	〃	1,700	13.1
1/30	73.0	0.75	〃	600	15.2
1/30	85.0	0.75	〃	480	14.8
1/50	53.0	0.8	〃	3,300	11.8
1/50	63.0	0.6	〃	407	14.5

表-1・1・5 愛媛県河川改修事業実施河川の治水計画諸元

河 川 名	流域面積	流路延長	洪水到達時間		計
			算 定 式	時 間	
	km ²	km		hr	
嵩 富 川	24.4	8.0	Kraven	0.72	岩 井 法
浅 川	9.4	4.5	Rziha	0.92	〃
宮 前 川	13.6	11.9	Kraven	2.10	〃
宮 浦 本 川	3.7	3.7	Rziha	0.24	〃
表 川	76.0	11.6	〃	0.99	〃
金 生 川	57.4	14.3	Rziha Manning	1.00	〃
大 谷 川	16.3	7.1	Rziha	1.33	〃
国 近 川	11.7	7.0	Kraven	1.00	既往最大
関 川	60.3	13.1	Rziha	0.98	岩 井 法
宇 和 川	84.4	13.0	〃	2.88	〃
中 山 川	181.8	29.4	Rziha Kraven	2.80	〃
僧 都 川	71.1	17.4	Rziha	2.33	〃
小 田 川	315.4	31.8	〃	4.30	〃
加 茂 川	191.5	29.0	〃	2.56	S 20.9.17
三 間 川	101.1	19.7	〃	2.08	S 18.7.22

画 雨 量		流 出 率	計 画 高 水 流 量		
確率年	雨量強度 mm/hr		算 定 式	流 量 m^3/sec	比 流 量 $m^3/sec/km^2$
$1/50$	61.5	0.80	Rational	340	14.0
$1/30$	51.5	0.80	"	110	11.7
$1/50$	35.0	0.85	"	155	11.4
$1/30$	60.0	0.80	"	50	13.5
$1/80$	63.4	山地 0.8 平地 0.6	"	900	12.0
$1/50$	54.5	"	"	595	10.4
$1/50$	40.5	山地 0.85 平地 0.75	Unite graph	150	9.2
-	46.7	0.60	Rational	84	7.2
$1/50$	65.5	山地 0.85 平地 0.60	"	900	14.0
$1/100$	42.7	山地 0.8 平地 0.6	"	410	4.8
$1/50$	58.3	山地 0.85 平地 0.60	"	1,300	7.2
$1/50$	59.3	山地 0.85 平地 0.45	"	973	13.6
$1/100$	22.0	0.80	"	1,350	4.2
実測値	51.8	0.90	"	2,000	10.5
"	47.2	0.75	"	870	8.6

表-1・1・6 徳島県河川改修事業実施河川の治水計画諸元

河 川 名	流域面積	流路延長	洪水到達時間		計
			算 定 式	時 間	
宮川内谷川	73.6 ^{km²}	24.0 ^{km}	Rziha	2 $\frac{40}{60}$ ^{hr}	岩井法
飯尾川	73.3	26.4	"	2 $\frac{45}{60}$	—
旧吉野川	133.8	30.3	Rziha Kraven	4 $\frac{5}{60}$	岩井法
桑野川	61.9	19.0	"	3 $\frac{9}{60}$	岩井法 Gumbel
岡川	10.3	7.1	"	$\frac{50}{60}$	"
那賀川	727.9	99.2	—	—	各法平均
勝浦川	224.0	49.0	Rziha	3 $\frac{35}{60}$	岩井法
園瀬川	67.0	16.0	"	1 $\frac{18}{60}$	S 25. 9. 3
田宮川	10.0	8.1	"	1 $\frac{10}{60}$	S 25. 9. 3
海部川	154.6	35.1	Kraven	3 $\frac{30}{60}$	石原、高瀬 Gumbel
日和佐川	71.0	17.5	Rziha	2 $\frac{15}{60}$	岩井法
牟岐川	33.5	5.7	"	1 $\frac{20}{60}$	"

画 雨 量		流 出 率	計 画 高 水 流 量		
確率年	雨量強度		算 定 式	流 量	比 流 量
1/50	$\frac{mm}{hr}$ 50.3	山地 0.75 平地 0.65	Rational	$\frac{m^3}{sec}$ 602	$\frac{m^3}{sec/km^2}$ 8.2
—	48.0	0.65	"	635	8.7
1/70	71.0	山地 0.8 平地 0.65	"	1,600	11.9
1/50	83.6	0.70	Unite graph (S40.9.14)	900	14.5
1/30	75.0	山地 0.8 平地 0.6	"	150	14.6
1/100	106.0	—	面積比流量配分	8,500	11.68
1/30	52.5	0.85	Rational	3,000	13.4
実 績	86.9	0.76	"	850	16.0
実 績	86.9	0.60	"	145	14.5
1/100	81.0	0.8	Unite graph	2,100	13.6
1/50	75.0	0.8	Rational	1,180	16.4
1/50	92.5	0.8	"	700	20.9

第2節 本研究の目的とその概要

前節において強調してきたごとく、現在の急激な社会開発に即応した治水対策は、何と言っても、中小河川、とくに、地方都市周辺の中小河川を緊急に整備、改修することであり、中小河川治水事業の現況とその問題点において、指摘した研究項目について、新しく研究し、解析、考察することが必要である。

表-1・1・3 から表-1・1・6 に示す、四国四県の治水事業を実施している河川についての調査、解析結果を参考にするまでもなく、大多数の河川は、流域面積が100 km²以下、また、洪水到達時間が6 時間以内の河川、いわゆる、中小級の河川であり、治水計画策定にあたっては、この河川規模に適合した水文、および、水理学的解析法について研究する必要がある。

とくに、治水計画の規模は、計画降雨に用いる降雨量の年超過確率¹⁾で、評価をすることとし、その決定にあたっては、計画対象地域の重要度、事業効果などを総合的に考慮するものとし、その重要度については、A級、B級、C級、D級、および、E級の5段階に区分し、A級は、200 年確率以上、B級は、100～200 年、C級は、50～100 年、D級は、30～50 年、E級は、10～30 年をとることにしている。

したがって、中小河川の治水計画策定にあたって、とくに、重要なことは、降雨資料の調査、解析を行ない、適正、妥当な計画降雨を算定し、そして、中小河川に適合した適切な計画高水の解析をすることである。本研究は、こうした観点から、中小河川治水計画策定上の基本情報、計画降雨の合理的算定法とその計画高水の解析法について研究したものである。

なお、こうした研究には、実際の降雨資料に基づく適合性の問題が議論されねばならないが、本研究では、四国四県の降雨特性を代表的に選んだ。もちろん、計画降雨に関する研究については、全国的降雨特性の研究をしなければならないが、四国の降雨は、とくに、四国山脈を堺とし、南四国と北四国において、質、量ともに、非常に異なった特性をもち、全国の多雨と寡雨地域の代表とも考えられるので、多雨地域の代表地としては、高知气象台、徳島气象台、寡雨地域の代表地としては、高松气象台、松山气象台の降雨資料を用い、その降雨特性の解析をすることにした。

さて、計画降雨の解析においては、少なくとも、基本高水の計画高水流量、すなわち、

ピーク流量を解析するための確率降雨強度式の算定法、および、計画ハイドログラフそのものを解析するための確率ハイトグラフの合理的な算定法が必要である。

つぎに、計画高水の解析においては、中小河川は、とくに、流路延長が短少、河川勾配も多種多様であり、この洪水到達時間の適正、妥当な算定が非常に困難である。また、計画ハイドログラフそのものの解析にも、その流量資料が乏しく、これを期待することができないので、これらに対応した解析法に関する研究が必要である。

以下、本研究の内容を要約すると、つぎのとおりである。

まず、第2章においては、計画降雨の推定に関する従来の研究として、諸外国で研究されてきた、各地の降雨強度推定法につき、その適用条件をも含めて研究、考察し、また、近年、わが国において、盛んに用いられている確率降雨強度式の解析法について、短時間と長時間にわけて、算定法を論述し、また、四国の各地に適用し、解析、考察した。その結果、中小河川の治水計画策定の計画降雨については、さらに、中時間降雨の算定法について研究する必要があることを明らかにした。

第3章においては、中小河川に適用する計画降雨の合理的算定法とその考察として、新しく、中時間確率降雨強度式の算定法について考究し、また、四国各地の確率降雨強度式の解析に適用し、その考察をした。また、新しく、中時間確率ハイトグラフの算定法についても考究し、四国各地の確率ハイトグラフの解析に適用し、その考察をした。さらに、中小河川の治水事業とその問題点において、指適したごとく、中小河川の計画流域内には、十分な降雨資料が整備されていない場合が多く、降雨情報の任意地点への変換についても、四国各地の降雨資料を用いて、解析、考察をした。

第4章においては、中小河川に適用する計画高水解析法とその考察として、まず、計画高水流量の推定に関する従来の研究は、世界の各地で研究されてきた、各種の公式を経験的に得られた方法と理論的な考察に基づいた方法に分類し、さらに、経験公式は、その対象とした流域の状況によって細分し、考察をした。つぎに、治水計画策定の計画高水のうち、計画高水流量の解析法は、現在、広く実用されている、合理法につき論述し、また、その適用上の問題点である、洪水到達時間の合理的、妥当な算定法には、Kinematic wave法とKvavenの値を用いて算出する、新しい算定法を提案した。そして、香川県の主要河川の計画高水流量の算定には、合理法に、上述の新提案の洪水到達時間の算定法と第3章で提案した、新しい計画降雨の算定法を適用、解析し、非常

に容易に、適切な解析ができることを明らかにした。つぎに、計画ハイドログラフの解析については、中小河川は、その流量資料などが乏しいので、流域特性から解析のできる単位図法と近年、水理学的に、盛んに研究されてきている、Kinematic wave 法につき論述し、また、香川県の代表河川に、第3章で提案した、新しい計画降雨の算定法とともに、適用し、その解析結果が非常に、適切な解析となることを明らかにした。

第5章においては、結論として、本研究において得られた成果を要約し、提示した。

以上から明らかなように、本研究の目的は、中小河川の治水計画を合理的に策定するため、その基本となる計画降雨が適確に算定できるよう、新しく中時間確率降雨強度式、および、確率ハイエトグラフの合理的算定法を考究し、さらに、これを適用し、かつ、中小河川に適合した計画高水の解析法についても研究することである。

本研究の成果が、今後、四国四県の治水計画策定において、有効に活用され、その治水事業の促進に、さらに、全国の都道府県においても、有効に活用され、全国の中小河川の治水事業の促進に、貢献するものと確信する。

参 考 文 献

- (1) 矢野勝正：水災害の科学，技報堂，昭和46年，PP.1～4, PP.169～182
- (2) 日本気象協会：1940～1970 台風経路図30年集，1973年，PP.5～15
- (3) 日本気象協会：総合版 台風災害を防ごう，1963年，PP.3～16
- (4) 土木学会：日本の土木技術，昭和50年，PP.75～90
- (5) 日本河川協会：河川便覧，昭和49年，P.37, 44
- (6) 日本河川協会：河川ハンドブック，1975年，PP.75～80
- (7) 香川県河川砂防課：河川改修事業全体計画概要，昭和50年
- (8) 高知県河川課：河川改修事業全体計画概要，昭和50年
- (9) 愛媛県河川課：河川改修事業全体計画概要，昭和50年
- (10) 徳島県河川課：河川改修事業全体計画概要，昭和50年
- (11) 日本河川協会：河川，1965年，PP.26～30
- (12) 香川県河川砂防課：香川の河川，1974年

第2章 計画降雨の推定に関する従来の研究

第1節 降雨強度推定法の分類と考察

降雨強度の推定法については、従来から、世界の各地において、数多くの人達が、特定の地域で経験的、実験的に得られた方法を公式として提案している。これらの経験公式は、それぞれの特定の地域に対して、適合するように、つくられたものであるから、これを、そのまま他の任意の地域に適用することは、一般的に、妥当ではない。しかし、その経験公式が得られた地域と気象、地形などの諸条件の点で、類似した地域においては、適用できるので、世界各地において研究された、降雨強度の公式を、式の形によって分類し、その適用条件を明らかにしておく。

表-2・1・1は、諸外国の降雨強度公式の分類とその適用条件を示したものである。

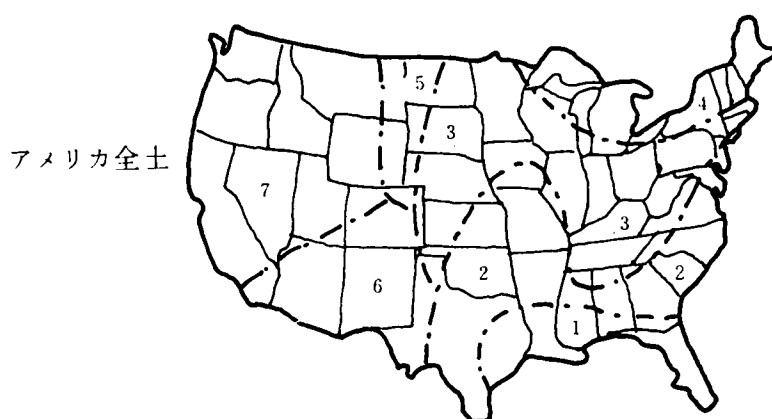
表-2・1・1 諸外国の降雨強度公式の分類とその適用条件

(a) $I = \frac{a}{t+b}$ の形の公式 (Talbot 形)

単位 inch/hr

公 式 名	a	b	適用場所	発表年	備 考
Talbot ¹⁾	105 180 360	15 30 30	ロッキー山脈	1891	強い降雨 15年確率の降雨 30～50年確率の降雨
Dorr ²⁾	150	30	ボストン	1892	25～30年確率の降雨
Kuichling ³⁾	120 106	20 13	ボストン	1905	—
Hill ¹⁾	120	15	シカゴ	1907	—
Bruyn-Kops ¹⁾	191 163 141	19 27 27	サバナ	1908	可能最大降雨 2年確率の降雨 1年確率の降雨
Hendrick ¹⁾	300 105	25 10	バルチモア	1911	強い降雨 設計降雨
Allen-Baffitt ¹⁾	200	20	ニューヨーク	1921	25年確率の降雨
Meyer ¹⁾	600 325 256	65 32 25	ガルベストン ニューヨーク ボストン	1928	100年確率の降雨 " "

公 式 名	a	b	適用場所	発表年	備 考
Williams ¹⁾	180 360 540	45	東インド	1937	強い降雨 100年確率の降雨 可能最大の降雨
Schafmyer ¹⁾	102 138 166 193	16 19 21 22	シカゴ	1938	2 年確率 5 " 10 " 20 " t < 120 分
Steel ¹⁾	別表	別表	アメリカ全土	1947	t < 120 分



別表 Steel 公式の a, b の値

確率年	定数	地 域						
		1	2	3	4	5	6	7
2	a	206	140	106	70	70	68	32
	b	30	21	17	13	16	14	11
5	a	247	190	131	97	81	75	48
	b	29	25	19	16	13	12	12
10	a	300	230	170	111	111	122	60
	b	36	29	23	16	17	23	13
25	a	327	260	230	170	130	155	67
	b	33	32	30	27	17	26	10
50	a	315	350	250	187	187	160	65
	b	28	38	27	24	25	21	8
100	a	367	375	290	220	240	210	77
	b	33	36	31	28	29	26	10

(b) $I = \frac{a}{t^n}$ の形の公式 (Sherman 形)

公 式 名	a	n	適用場所	発表年	備 考
Clarke ¹⁾	$\sqrt{54}$ $\sqrt{162}$ $\sqrt{321}$	0.5	ニューヨーク	1892	1年確率の降雨 8 " 15 "
Sherman ¹⁾	38.64 25.14 18	0.687 0.687 0.5	ボストン	1905	可能最大降雨 設計降雨 特別な場合の降雨
Gregory ⁴⁾	12 6 32	0.5 0.5 0.8	ニューヨーク	1907	普通の烈しい降雨 冬季の降雨 可能最大降雨
Bureau of Survey ¹⁾	27 18 9	0.5	フィラデルフィア	1911	可能最大降雨 強い降雨 普通の降雨
Nipher ⁴⁾	360	1	セントルイス	1914	—
Webster ¹⁾	12	0.6	フィラデルフィア	1940	一般の降雨

(c) $I = \frac{a}{(t+b)^n}$ の形の公式

公 式 名	a	b	n	適用場所	発表年	備 考
Horner ¹⁾	56	5	0.85	セントルイス	1914	—
Bleich ⁵⁾	4201 1468 63.75 60.53 41.62 38.85	50 40 12 10 9 10	1.513 1.342 0.745 0.835 0.813 0.842	ニューヨーク	1935	50年確率の降雨 25 " 10 " 5 " 2 " 1 "

(d) その他の形の公式

公 式 名	I	適用場所	発表年	備 考
Brackenberry ¹⁾	$\frac{23.95}{t+2.15} + 0.54$	ワシントン	1912	—
Metcalf and Eddy ¹⁾	$\frac{a}{\sqrt{t} + b}$	デンバー ボストン ルイスビル ニューオリンズ	1914	a = 8.4 b = 4 15.5 0 14 0 19 0
Institution of Civil Engineers ¹⁾	$\frac{8}{t+1}$	イギリス	1937	—

この分類によると、(a)形の公式は、Talbot 形、(b)形の公式は、Sherman 形とよばれているもので、(c)形の公式は、やや、一般的であり、 $n=1$ とすると(a)形になる。これらのいづれにも属さない形が(d)形である。なお、これらの式の適用条件については、それぞれ、式の備考において明らかにした。

一方、わが国においても、降雨強度式に関する数多くの研究があり、その式形は、(a)の Talbot 形がもっとも多く、(b)の Sherman 形、および、(d)に属する $I = \frac{a}{\sqrt{t+b}}$ の形の公式も用いられている。1927年、久野¹⁰⁾が、 $I = \frac{a}{\sqrt{t-b}}$ を提案し、また、石黒⁷⁾は、 $I = \frac{a}{\sqrt{t+b}}$ の存在することを見出したが、これらの式は、前に述べた(d)形に属することは、言うまでもない。

とくに、わが国において、近年、盛んに研究されている降雨強度式の解析については、その適用時間帯が2時間以内である短時間降雨強度式と24時間を対象とした長時間降雨強度式の解析に分けて、その算定法が研究されてきている。

したがって、第2節では、短時間確率降雨強度式の算定法とその考察を、また、第3節では、長時間確率降雨強度式の算定法とその考察を行ない、それらを通じて、中小河川の治水計画策定に適用する計画降雨の算定法としての適合度について解析、考察することにした。

第2節 短時間確率降雨強度式の算定法と考察

1 短時間確率降雨強度式の算定法

短時間確率降雨強度式の算定法については、近年、新しく研究されてきている算定法に、石黒提唱の特性係数法⁷⁾がある。ここでは、まず、特性係数法を用いた算定法について論述することにする。

石黒は、降雨強度式の特質として、つぎのような関連性、通則性が見出せることを提唱した。

すなわち、

- (1) 降雨強度曲線は、いくつかの基本形に分類できる。
- (2) それぞれの基本形では、それらの曲線勾配を左右するものは、分母の係数だけであ

る。

(3) 同一基本式形で分母係数が同じでも、1 時間雨量が異なれば、その曲線は異なる。

しかし、この場合、その曲線は、互いに、平行移動の形となる。

(4) これら平行移動の各曲線は、1 時間降雨強度で比較することができる。

(5) あらゆる降雨強度曲線は、曲線の勾配を表わす係数に、1 時間雨量を掛けたもので示すことができる。

以上のうち、この曲線の勾配を表わす係数は、各地方の降雨特性によって決定されるものであり、これを特性係数と名づけている。

この特性係数を用いると、すべての降雨強度式は、つぎの式で表わされる。

$$I_N = \beta_N R_N \text{ ----- (2.2.1)}$$

ここに、 I_N : N年確率降雨強度 (mm/hr) β_N : 特性係数

R_N : N年確率60分間雨量 (mm/hr)
(9)(11)~(15)

つぎに、降雨強度式の形 ^{(9)(11)~(15)} については、前節で分類したごとく、一般に、3 形式に分類することができる。

$$\text{Case I (Talbot 形)} \quad I = \frac{a}{t+b} \text{ ----- (2.2.2)}$$

$$\text{Case II (Sherman 形)} \quad I = \frac{a}{t^n} \text{ ----- (2.2.3)}$$

$$\text{Case III (久野, 石黒形)} \quad I = \frac{a}{\sqrt{t} \pm b} \text{ ----- (2.2.4)}$$

ここに、 I : 降雨強度 (mm/hr) t : 降雨継続時間 (min)

a, b, n : いずれも地方定数

いま、特性係数を用いて、上記の降雨強度式を、書き変えると、つぎの式となる。

$$\text{Case I : } I_N = \beta_N R_N = \frac{a'}{t+b} R_N \text{ ----- (2.2.5)}$$

$$\text{Case II : } I_N = \beta_N R_N = \frac{a'}{t^n} R_N \text{ ----- (2.2.6)}$$

$$\text{Case III : } I_N = \beta_N R_N = \frac{a'}{\sqrt{t} \pm b} R_N \text{ ----- (2.2.7)}$$

なお、式(2.2.5)から式(2.2.7)の各係数 a' 、 b 、 n は、 $t = 60 \text{ min}$ にて、 $\beta_N = 1.0$ という条件によって、それぞれ、つぎの式から算出できる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{Case I : } a' = b + 60 \\ b = \frac{60 - \beta_N^t \cdot t}{\beta_N^t - 1} \end{array} \right\} \text{ ----- (2.2.8)}$$

$$\text{Case II : } \left. \begin{aligned} a' &= \frac{\log \beta_N^t \cdot \log 60}{\log 60 - \log t} \\ n &= \frac{\log a'}{\log 60} \end{aligned} \right\} \text{----- (2.2.9)}$$

$$\text{Case III : } \left. \begin{aligned} a' &= \sqrt{60} - b \\ b &= \frac{\beta_N^t \cdot \sqrt{t} - \sqrt{60}}{\beta_N^t - 1} \end{aligned} \right\} \text{----- (2.2.10)}$$

ここで、 β_N^t の推定法のもっとも、一般的な方法としては、確率N年における60分とt分との、降雨強度比であるから、 β_N^t は、つぎの式となる。

$$\beta_N^t = \frac{I_N^t}{I_N^{60}} \text{----- (2.2.11)}$$

ここに、 β_N^t : N年確率t分間特性係数值

I_N^t : N年確率t分間降雨強度 (mm/hr)

I_N^{60} : N年確率60分間降雨強度 (mm/hr)

わが国の気象台、測候所では、60分間と10分間雨量とは、必ず、雨量観測値として正式に発表されているので、 β_N^{10} を用いることにすると、

$$\beta_N^{10} = \frac{I_N^{10}}{I_N^{60}} \text{----- (2.2.12)}$$

また、定数 a' 、 b 、 n の値は、つぎの式によって算出することができる。

$$\text{Case I : } \left. \begin{aligned} a' &= b + 60 \\ b &= \frac{60 - \beta_N^{10} \cdot 10}{\beta_N^{10} - 1} \end{aligned} \right\} \text{----- (2.2.13)}$$

$$\text{Case II : } \left. \begin{aligned} \log a' &= \frac{\log \beta_N^{10} \cdot \log 60}{\log 60 - \log 10} \\ n &= \frac{\log a'}{\log 60} \end{aligned} \right\} \text{----- (2.2.14)}$$

$$\text{Case III : } \left. \begin{aligned} a' &= \sqrt{60} - b \\ b &= \frac{\beta_N^{10} \sqrt{10} - \sqrt{60}}{\beta_N^{10} - 1} \end{aligned} \right\} \text{----- (2.2.15)}$$

したがって、特性係数法を用いた、短時間確率降雨強度式の算定法については、同一確率年の10分間と1時間の降雨強度を算定しておけば、特性係数值 β_N^{10} が、式(2.2.12)

を用い、また、降雨強度式形が、Case I のときは、式(2.2.13)、Case II のときは、式(2.2.14)、Case III のときは、式(2.2.15)を用いて、それぞれ、地方定数 a' 、 b 、 n が算出できるので、確率降雨強度式は、式(2.2.5)から式(2.2.7)までを用いて、簡単に算出できるというものである。

実際の解析においては、このようにして算出した3式形の解析値と実測値を比較し、適合度の、もっとも高い確率降雨強度式を選び、これを求める確率降雨強度式に採用している。

この特性係数法を用いた短時間確率降雨強度式の算定法は、上記のごとく、10分間と1時間の確率降雨強度が与えられていると、簡単に、合理的に、解析することができる実用的な算定法である。しかしながら、この算定法には、いま、みたように、あらかじめ、その地点の降雨特性、および、降雨強度式形に関する情報が必要である。

すなわち、この地点の降雨特性、降雨強度式形が、既に判明しておれば、10分間と1時間の確率降雨強度から、適合度の高い、適確な、確率降雨強度式が簡単に、解析でき、また、任意の継続時間に対する確率降雨強度も、適確に算出することができる。

したがって、全国的に、短時間降雨についての降雨特性を調査、解析する必要があるが、以下では、全国的な降雨特性を代表すると考えられる、四国地方について、短時間確率降雨強度式を解析し、その降雨特性について考察することにした。

2 降雨資料の抽出と確率統計解析

治水計画の規模は、すでに論述してきたごとく、計画降雨に用いる降雨量の年超過確率で評価することになっているので、まず、降雨資料の抽出と、その確率統計解析を必要とする。

治水計画に用いる降雨は、その最大値を解析する必要があるが、この場合、毎年最大値と非毎年最大値を抽出する方法が考えられる。この両者の関係⁹⁾については、確率年数が小さい時には、これらの解析値は、大きな相異を生ずるが、確率年数が大きくなるにつれて、両者の解析値は漸近する傾向をもつ。現在、および、将来の治水計画は、中小河川といえども、少なくとも、30年以上の確率年を要請しており、しかも、降雨資料の抽出は、毎年最大値が容易であるので、本研究では、毎年最大値を対象とした。

つぎに、降雨資料^{16)～19)}の抽出については、高松気象台は、昭和17年から49年までの33ヶ

年間、高知気象台は、昭和16年から49年までの34ケ年間、松山気象台は、昭和25年から49年までの25ケ年間、徳島気象台は、同じく、昭和25年から49年までの25ケ年間の10分間、20分間、30分間、1時間、90分間、2時間、3時間、4時間、6時間、12時間、24時間連続降雨量の毎年最大値を抽出した。

つぎに、統計的解析法^{20)~25)}については、現在、在く、実用化されているものに、対数正規分布の解析法、対数確率による近似解析法、および、極値分布の解析法などがあるが、本研究では、対数正規分布に対する岩井法²⁸⁾を採用した。すなわち、本研究においては、数多く資料について、解析する必要があるので、電子計算機の利用をはからざるをえず、この電子計算機を用いて解析する場合、岩井法以外の解析法は、各種の補正値が、図表の形で用いられており、プログラミングが、非常に繁雑となるので、統計的解析方法には、岩井法を適用することにした。

いま、水文量を x 、資料数を N 、大きいものから i 番目の水文量を x_i 、また累積分布関数を $F(x)$ 、正規変数を ξ とすると、岩井法は、つぎの式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} F(x) &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\xi^2} d\xi \\ \xi &= a \log_{10} \frac{x+b}{x_0+b} \quad (-b < x < \infty) \end{aligned} \right\} \text{----- (2.2.16)}$$

$$\log_{10}(x+b) = \log_{10}(x_0+b) + \frac{1}{a} \xi$$

ここに、 a 、 b 、 x_0 は定数であり、つぎのような手順で決定するものである。

まず、 x_0 の第一次近似としての幾何平均 x_g を用い、 b を求め、つぎに、 $\log_{10}(x+b)$ を変量と考え、その平均値 $\log_{10}(x_0+b)$ 、および、標準偏差 Sx を求め、 $\frac{1}{a}$ を推定する。 b の値は、大きい方より $i=1, 2, \dots, m=\frac{N}{10}$ の値と、小さい方より $1, 2, \dots, m$ の値をそれぞれ1組みとして m 組の b を求めて、その平均から推定をする。すなわち、

$$\log_{10} x_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_{10} x_i \text{----- (2.2.17)}$$

$$b_s = \frac{x_1 \cdot x_s - x_g^2}{2x_g - (x_1 + x_s)} \quad (l = N-i+1) \text{----- (2.2.18)}$$

$$b = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m b_s \quad (m = \frac{N}{10}) \text{----- (2.2.19)}$$

$$\log_{10}(x_0 + b) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_{10}(x_i + b) \quad \text{-----} \quad (2.2.20)$$

$$\frac{1}{a} = \sqrt{\frac{2}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\log_{10} \frac{x_i + b}{x_0 + b} \right)^2} = \sqrt{\frac{2N}{N-1}} S_x \quad \text{----} \quad (2.2.21)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \log_{10}(x_i + b) \right\}^2 - \left\{ \log_{10}(x_0 + b) \right\}^2}$$

$$= \sqrt{\overline{Y^2} - \overline{Y}^2} \quad \text{-----} \quad (2.2.22)$$

$$\text{ここに, } \overline{Y^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \log_{10}(x_i + b) \right\}^2$$

$$\overline{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_{10}(x_i + b)$$

したがって、基本推定式は、式(2.2.16)から求められ、また、任意の確率年、 T に対する水文量 x は、正規変量 ξ の値を表-2・2・1から求めて、式(2.2.16)から算出することができる。

表-2・2・1 確率 T 年に対する正規変量

T	ξ	T	ξ	T	ξ	T	ξ	T	ξ
2	0.0000	10	0.9062	50	1.4520	90	1.6168	250	1.8753
3	0.3045	15	1.0614	55	1.4798	95	1.6314	300	1.9184
4	0.4769	20	1.1630	60	1.5047	100	1.6450	400	1.9850
5	0.5951	25	1.2380	65	1.5274	110	1.6701	500	2.0350
6	0.6858	30	1.2967	70	1.5481	120	1.6929	800	2.1375
7	0.7547	35	1.3453	75	1.5672	150	1.7499	1000	2.1850
8	0.8134	40	1.3860	80	1.5849	180	1.7955		
9	0.8634	45	1.4213	85	1.6014	200	1.8215		

本研究においては、岩井法による降雨量の統計解析は、香川大学の電子計算機によって行なった。そのプログラムは、表-2・2・2、高松10分間雨量、および、確率年と正規変量のデーターは、表-2・2・3、その確率計算は、表-2・2・4に示すことにした。

表-2・2・2 岩井法の電子計算機用プログラム

FALOM 230 US2 FUNTRAN S FTMA

SOURCE LIST

```

0001      C      CALCULATION OF PROBABLE RAINFALL
0002      DIMENSION M(200),GKSI(50),X(200),LP(20),B1(20),J1(20),K(20),
0003      *      B(20),J3(200),U1(200),U2(200),V1(11),XX1(11),IP(11)
0004      1000 FORMAT(1H1,/,25X,55H** CALCULATION OF PROBABLE RAINFALLBY IWAI ME
0005      +THOD ** )
0006      READ(5,102) (GKSI(I),I=1,11)
0007      102 FORMAT(11F7.0)
0008      112 FORMAT(11F7.0) (IP(I),I=1,11)
0009      113 READ(5,100) N
0010      100 FORMAT(I5)
0011      IF(N.EQ.9999) GO TO 3840
0012      READ(5,101) (M(I),I=1,N)
0013      101 FORMAT(10I5)
0014      L=0
0015      DO 1 I=1,N
0016      L=L+M(I)
0017      1 CONTINUE
0018      AVEH=FLOAT(L)/FLOAT(N)
0019      AL=0.0
0020      DO 2 I=1,N
0021      X(I)=ALOG10(FLOAT(M(I)))
0022      AL=AL+X(I)
0023      2 CONTINUE
0024      AVEH=AL/FLOAT(N)
0025      XG=10.0**AVEH
0026      AP=0.0
0027      DP=FLOAT(N)/10.0
0028      M2=N/10
0029      DU=DP-FLOAT(M2)
0030      IF(DU.LT.0.5) GO TO 333
0031      M2=M2+1
0032      DO 4 I=1,M2
0033      JA=N+1-I
0034      LP(I)=M(I)*M(JA)
0035      B1(I)=FLOAT(LP(I))-XG**2
0036      J1(I)=M(I)*M(JA)
0037      B2(I)=2.0*XG-FLOAT(J1(I))
0038      B(I)=B1(I)/B2(I)
0039      AP=AP+B(I)
0040      4 CONTINUE
0041      QB=AP/FLOAT(M2)
0042      NB=AP/FLOAT(M2)
0043      IF(NB.GE.0) GO TO 444
0044      SB=FLOAT(NB)-QB
0045      IF(SB.GE.0.5) GO TO 328
0046      GO TO 438
0047      328 NB=NB-1
0048      GO TO 438
0049      444 SB=QB-FLOAT(NB)
0050      IF(SB.GE.0.5) GO TO 428
0051      GO TO 438
0052      428 NB=NB+1
0053      438 IF(M(N)+NB.LT.0) GO TO 300
0054      GO TO 301
0055      300 NB=0
0056      301 BP=0.0
0057      DO 5 I=1,N
0058      J3(I)=M(I)+NB
0059      U1(I)=ALOG10(FLOAT(M(I)+NB))
0060      BP=BP+U1(I)
0061      5 CONTINUE
0062      Y2=BP/FLOAT(N)
0063      CP=0.0
0064      DO 6 I=1,N
0065      U2(I)=U1(I)**2
0066      CP=CP+U2(I)
0067      6 CONTINUE
0068      Y3=CP/FLOAT(N)
0069      SX=SQRT(Y3-Y2**2)
0070      A=SQRT((2.0*FLOAT(N))/(FLOAT(N)-1.0))*SX
0071      DO 7 I=1,11
0072      V1(I)=Y2+A*GKSI(I)
0073      DO 8 I=1,11
0074      XX1(I)=10.0**V1(I)-FLOAT(NB)
0075      8 CONTINUE
0076      WRITE(6,1000)
0077      1000 FORMAT(/,35A,14H,3X,11H(MM/DAY) 8HLOG(X) 5HAB
0078      + 12HY=LOG(X-B) 4HY**2 )
0079      1A=0
0080      DO 9 I=1,N
0081      WRITE(6,1002) 1*M(I),X(I),J3(I),U1(I),U2(I)
0082      1002 FORMAT(31X,15,4X,15,3X,F8.5,1X,14,2X,F8.5,1X,F8.5)
0083      1A=1A+1
0084      9 CONTINUE
0085      WRITE(6,1003) AVEH,AVEH*Y2,Y3
0086      1003 FORMAT(30X,50(1H-),/, 41X,F6.2,2X,F7.4,8X,F7.4,2X,F7.4)
0087      WRITE(6,1004)
0088      1004 FORMAT(/,22X,2HAL,5X,2HAS,5X,5HAL*XS,4X,11HAL*XS-XG**2,1X,
0089      + 5HXL*XS,1X,12H2*SG-(XL*XS),3X,1HB )
0090      1B=4
0091      DO 10 I=1,M2
0092      JB=N+1-I
0093      WRITE(6,1005) M(I),M(JB),LP(I),P1(I),J1(I),H2(I),U1(I)
0094      1005 FORMAT(19X,15,2X,15,2X,18,3X,F11.3,1X,15,1X,F12.4,1X,F5.1)
0095      1B=1B+1
0096      10 CONTINUE
0097      WRITE(6,1006) NB,NB*Y2,A
0098      1006 FORMAT(23X,57(1H-),/,76X,14,/,66X,6HLOG(X+14,2H)*F7.4,1H+
0099      + 44H*XS)
0100      1007 FORMAT(/,34X,1HT,5X,3HFS1,6X,F7.4,1H+ 4F7.4,4H*XS1,3X,1HX)
0101      1C=7
0102      DO 11 I=1,11
0103      IC=IC+1
0104      11 WRITE(6,1008) IP(I),GKSI(I),V1(I),XX1(I)
0105      1008 FORMAT(32X,13,3X,F6.3,10X,F7.4,9X,F5.1)
0106      KI=1A+1B+1C
0107      IF(KI.GT.66) GO TO 5000
0108      1H=66-KI
0109      GO TO 113
0110      5000 IK=132-KI
0111      GO TO 113
0112      3840 WRITE(6,1009)
0113      1009 FORMAT(/,57X,15H1YAZA1 UNIV, 4/57X,10HPROGRAM EN 4/
0114      + 57X 16H1967-7 M,151GURU )
0115      STOP
0116      END

```

表-2.2.3 高松 10 分間雨量及び確率年と正規変量のデータ

1.8215	1.6450	1.5849	1.4520	1.2967	1.1630	0.9062	0.8134	0.5951	0.3045	0.0000
200	100	80	50	30	20	10	8	5	3	2
33	23	22	20	20	19	18	18	16	15	15
14	13	13	13	13	13	12	12	12	11	11
11	10	10	10	9	8	8	8	8	7	6
6	6	6	4							

表-2.2.4 高松 10 分間雨量の確率計算

** CALCULATION OF PROBABLE RAINFALL BY IWAI METHOD **

N	X (MM/DAV)	LOG(X)	X*B	Y=LOG(X-B)	Y**2
1	23	1.36173	28	1.44716	2.09427
2	22	1.34242	27	1.43136	2.04880
3	20	1.30103	25	1.39794	1.95424
4	20	1.30103	25	1.39794	1.95424
5	19	1.27875	24	1.38021	1.90498
6	18	1.25527	23	1.36173	1.85430
7	18	1.25527	23	1.36173	1.85430
8	16	1.20412	21	1.32222	1.74826
9	15	1.17609	20	1.30103	1.69268
10	15	1.17609	20	1.30103	1.69268
11	14	1.14613	19	1.27875	1.63521
12	13	1.11394	18	1.25527	1.57571
13	13	1.11394	18	1.25527	1.57571
14	13	1.11394	18	1.25527	1.57571
15	13	1.11394	18	1.25527	1.57571
16	13	1.11394	18	1.25527	1.57571
17	12	1.07918	17	1.23045	1.51400
18	12	1.07918	17	1.23045	1.51400
19	11	1.04139	16	1.20412	1.44990
20	11	1.04139	16	1.20412	1.44990
21	11	1.04139	16	1.20412	1.44990
22	10	1.00000	15	1.17609	1.38319
23	10	1.00000	15	1.17609	1.38319
24	10	1.00000	15	1.17609	1.38319
25	9	0.95424	14	1.14613	1.31361
26	8	0.90309	13	1.11394	1.24087
27	8	0.90309	13	1.11394	1.24087
28	8	0.90309	13	1.11394	1.24087
29	7	0.84510	12	1.07918	1.16463
30	6	0.77815	11	1.04139	1.08450
31	6	0.77815	11	1.04139	1.08450
32	6	0.77815	11	1.04139	1.08450
33	4	0.60206	9	0.95424	0.91058

	14.55	1.0635		1.2274	1.5214

XL	XS	XL*XS	XL*XS-XG**2	XL*XS	2*XS-(XL+XS)	B
23	4	92	-41.964	27	-3.8514	10.9
22	6	132	-1.964	28	-4.8514	0.4
20	6	120	-13.964	26	-2.8514	4.9

LOG(X+ 5)= 1.2274+ 0.1748*KS I

T	KS I	1.2274+ 0.1748*KS I	X
200	1.821	1.5458	30.1
100	1.645	1.5150	27.7
80	1.595	1.5045	27.0
50	1.454	1.4813	25.3
30	1.297	1.4541	23.5
20	1.163	1.4307	22.0
10	0.906	1.3858	19.3
8	0.813	1.3696	18.4
5	0.595	1.3314	16.5
3	0.304	1.2806	14.1
2	0.0	1.2274	11.4

つぎの表-2・2・5 から表-2・2・8は、四国各地の降雨量を岩井法を適用して統計解析し、各確率年、各降雨継続時間ごとに、確率降雨強度を求めたものである。なお、計算には、香川大学の電子計算機 FACOM 230-45 S を利用した。

表-2・2・5 高松の確率降雨強度

単位 mm/hr

確率年 継続時間	200年	100年	80年	50年	30年	20年	10年	8年	5年	3年	2年
10 分間	180.6	166.2	162.0	151.8	141.0	132.0	115.8	110.4	99.0	84.6	71.4
20 "	117.0	108.0	105.3	99.0	92.1	86.7	76.8	73.5	66.0	57.3	49.2
30 "	106.6	97.4	94.4	88.2	81.4	75.8	66.4	63.2	56.2	48.0	40.6
1 時間	73.6	67.2	65.2	60.9	56.2	52.4	45.8	43.6	38.8	33.2	28.0
90 分間	56.0	51.1	49.5	46.2	42.6	39.7	34.7	33.0	29.3	25.1	21.2
2 時間	53.1	47.5	45.8	42.1	38.3	35.3	30.1	28.5	25.0	21.0	17.6
3 "	51.9	45.0	42.9	38.7	34.3	30.9	25.5	23.8	20.3	16.5	13.5
6 "	31.3	27.5	26.4	24.0	21.4	19.5	16.3	15.3	13.2	10.8	8.9
12 "	17.3	15.7	15.2	14.1	13.0	12.1	10.4	9.9	8.7	7.4	6.2
24 "	10.5	9.6	9.3	8.7	8.0	7.5	6.6	6.3	5.6	4.7	4.0

表-2・2・6 高知の確率降雨強度

単位 mm/hr

確率年 継続時間	200年	100年	80年	50年	30年	20年	10年	8年	5年	3年	2年
10 分間	178.2	171.0	168.0	162.6	156.6	151.2	141.6	138.0	130.2	120.6	110.4
30 "	162.2	150.4	146.4	138.4	129.4	122.2	109.4	105.0	95.6	84.2	73.6
1 時間	137.7	125.1	121.1	112.8	103.9	96.8	84.9	81.0	72.7	63.2	55.0
80 分間	120.6	109.1	105.5	98.0	89.9	83.7	73.1	69.7	62.5	54.3	47.3
2 時間	91.1	82.5	79.7	74.1	68.1	63.5	55.6	53.1	47.8	41.9	36.8
3 "	77.9	69.9	67.4	62.3	56.9	52.7	45.7	43.5	38.9	33.8	29.4
6 "	39.9	37.6	36.8	35.2	33.3	31.8	29.0	28.0	25.9	23.2	20.7
12 "	29.4	27.4	26.7	25.3	23.8	22.5	20.3	19.5	17.8	15.7	13.8
24 "	17.5	16.1	15.7	14.8	13.8	13.0	11.6	11.1	10.1	9.0	8.0

表-2・2・7 松山の確率降雨強度

単位 mm/hr

確率年 継続時間	200年	100年	80年	50年	30年	20年	10年	8年	5年	3年	2年
10分間	138.6	130.2	127.2	121.2	114.6	109.2	99.6	96.6	88.8	80.4	72.0
30 "	79.8	75.0	73.4	69.8	66.0	63.0	57.2	55.4	51.0	45.8	40.8
1時間	63.5	57.6	55.7	51.9	47.9	44.8	39.7	38.0	34.6	30.8	27.6
2 "	40.9	37.3	36.2	33.9	31.4	29.4	26.1	25.0	22.7	20.1	17.8
3 "	33.1	30.3	29.4	27.6	25.6	24.0	21.3	20.4	18.6	16.4	14.5
4 "	24.6	22.9	22.4	21.3	20.0	19.0	17.2	16.6	15.2	13.6	12.2
6 "	16.5	15.8	15.6	15.0	14.4	13.9	12.9	12.6	11.8	10.8	9.8
12 "	11.6	11.0	10.8	10.3	9.8	9.4	8.6	8.4	7.8	7.1	6.4
24 "	7.3	7.0	6.9	6.6	6.3	6.1	5.6	5.5	5.1	4.7	4.2

表-2・2・8 徳島の確率降雨強度

単位 mm/hr

確率年 継続時間	200年	100年	80年	50年	30年	20年	10年	8年	5年	3年	2年
10分間	170.4	162.0	159.6	153.6	147.0	141.0	130.8	127.2	118.8	108.6	97.8
30 "	130.0	121.6	119.0	113.0	106.4	101.0	91.2	87.8	80.2	71.0	62.0
1時間	121.5	110.7	107.3	100.0	92.1	85.8	74.8	71.1	63.1	53.8	45.4
2 "	82.8	74.9	72.4	67.2	61.6	57.2	49.7	47.2	42.0	36.0	30.7
3 "	66.1	60.0	58.0	54.0	49.6	46.2	40.3	38.3	34.2	29.4	25.3
4 "	53.0	48.6	47.2	44.2	41.0	38.4	33.9	32.4	29.2	25.4	22.0
6 "	38.6	36.0	35.1	33.2	31.2	29.5	26.5	25.5	23.2	20.5	17.9
12 "	27.0	24.7	24.0	22.5	20.9	19.6	17.3	16.6	14.9	13.0	11.3
24 "	20.0	18.0	17.4	16.1	14.8	13.7	11.9	11.3	10.0	8.6	7.3

3 四国各地の短時間確率降雨強度式の解析と考察

② 高松の確率降雨強度式の解析

高松の短時間確率降雨強度式の解析については、確率降雨強度の資料として表-2・2・5、解析法としては、特性係数法を用いて行なった。

その解析の過程については、つぎの表-2・2・9に示す。

表-2・2・9 高松短時間確率降雨強度式の解析

Case I

単位 mm/hr

確率年	I_N^{10}	I_N^{60}	$\beta_N^{10} = \frac{I_N^{10}}{I_N^{60}}$	$\beta_N^{60} - 1$	$60 - 10 \beta_N^{60}$	$b = \frac{60 - 10 \beta_N^{60}}{\beta_N^{60} - 1}$	$a' = 60 + b$	$\beta_N = \frac{a'}{t + b}$	$I_N = \beta_N I_N^{60}$
100年	116.2	67.2	2.47	1.47	35.30	24.01	84.01	$\frac{84.01}{t+24.01}$	$\frac{5645}{t+24}$
50年	151.8	60.9	2.49	1.49	35.10	23.56	83.56	$\frac{83.56}{t+23.56}$	$\frac{5089}{t+24}$
30年	141.0	56.2	2.51	1.51	34.90	23.11	83.11	$\frac{83.11}{t+23.11}$	$\frac{4671}{t+23}$

Case II

単位 mm/hr

確率年	I_N^{10}	I_N^{60}	$\beta_N^{10} = \frac{I_N^{10}}{I_N^{60}}$	$\log \beta_N^{10}$	$\log a' = \frac{\log \beta_N^{10} \log 60}{\log 60 - \log 10}$	a'	$n = \frac{\log a'}{\log 60}$	$\beta_N = \frac{a'}{t^n}$	$I_N = \beta_N I_N^{60}$
100年	166.2	67.2	2.47	0.3927	0.8989	7.923	0.51	$\frac{9.923}{t^{0.51}}$	$\frac{532}{t^{0.51}}$
50年	151.8	60.9	2.49	0.3962	0.9058	8.050	0.51	$\frac{8.050}{t^{0.51}}$	$\frac{490}{t^{0.51}}$
30年	141.0	56.2	2.51	0.3997	0.9143	8.209	0.52	$\frac{8.209}{t^{0.52}}$	$\frac{461}{t^{0.52}}$

Case III

単位 mm/hr

確率年	$\beta_N^{10} = \frac{I_N^{10}}{I_N^{60}}$	$\beta_N^{60} - 1$	$\sqrt{10} \beta_N^{10}$	$\sqrt{10} \beta_N^{60} - \sqrt{60}$	$b = \frac{\sqrt{10} \beta_N^{60} - \sqrt{60}}{\beta_N^{60} - 1}$	$a' = \sqrt{60} + b$	$\beta_N = \frac{a'}{\sqrt{t-b}}$	$I_N = \beta_N I_N^{60}$
100年	2.47	1.47	7.810	0.064	0.044	7.702	$\frac{7.702}{\sqrt{t-0.044}}$	$\frac{518}{\sqrt{t-0.04}}$
50年	2.49	1.49	7.873	0.127	0.085	7.661	$\frac{7.661}{\sqrt{t-0.085}}$	$\frac{467}{\sqrt{t-0.09}}$
30年	2.51	1.51	7.937	0.191	0.126	7.620	$\frac{7.620}{\sqrt{t-0.126}}$	$\frac{428}{\sqrt{t-0.13}}$

また、求める確率降雨強度式は、表-2・2・10に示すとおりである。

表-2・2・10 高松短時間確率降雨強度式

単位 mm/hr

式形 確率年	Talbot 形	Sherman 形	久野 形
100年	$\frac{5645}{t+24}$	$\frac{532}{t^{0.51}}$	$\frac{518}{\sqrt{t-0.04}}$
50年	$\frac{5089}{t+24}$	$\frac{490}{t^{0.51}}$	$\frac{467}{\sqrt{t-0.09}}$
30年	$\frac{4671}{t+23}$	$\frac{461}{t^{0.52}}$	$\frac{428}{\sqrt{t-0.13}}$

つぎに、これら各式について、その適合度の解析を行なったが、つぎの表-2・2・11は、そのうち、50年確率の式について、解析値と実測値を比較、検討し、さらに、両者の

偏差百分率を算出したものである。また、図-2・2・1は、これを図示したものである。

ここに、 I_1 : Talbot 形の降雨強度式および降雨強度 (mm/hr)

I_2 : Sherman 形の降雨強度式および降雨強度 (mm/hr)

I_3 : 久野、石黒形の降雨強度式および降雨強度 (mm/hr)

α : 解析値の実測値に対する偏差 (mm/hr)

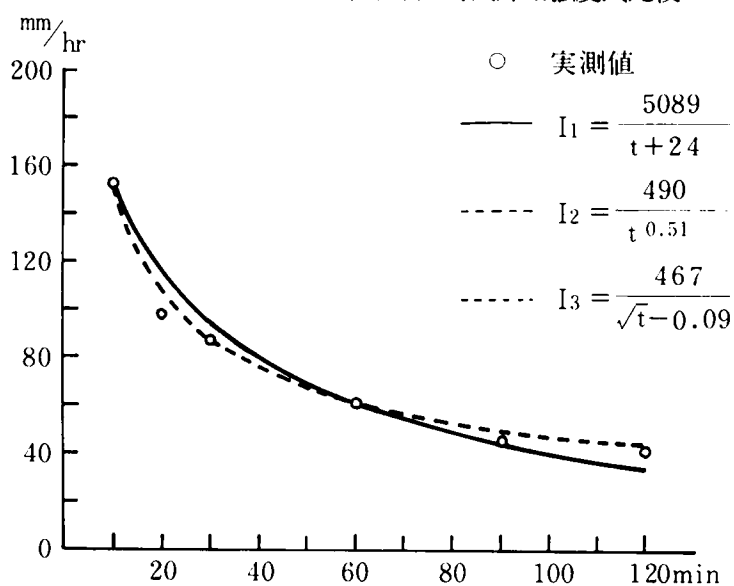
% : 上記の偏差百分率

表-2・2・11 高松決定式形の適合度比較

単位 mm/hr

50 年確率実測値			$I_1 = \frac{5089}{t+24}$			$I_2 = \frac{490}{t^{0.51}}$			$I_3 = \frac{467}{\sqrt{t-0.09}}$		
No.	t (分間)	I (降雨強度)	I_1	α_1	%	I_2	α_2	%	I_3	α_3	%
1	10	151.8	149.7	- 2.1	- 1.4	151.2	- 0.6	- 0.4	152.1	+ 0.3	+ 0.2
2	20	99.0	115.7	+ 16.7	+ 16.9	106.3	+ 7.3	+ 7.4	106.6	+ 7.6	+ 7.7
3	30	88.2	94.2	+ 6.0	+ 6.8	86.4	- 1.8	- 2.0	86.6	- 1.6	- 1.8
4	60	60.9	60.6	- 0.3	- 0.5	60.7	- 0.2	- 0.3	61.0	+ 0.1	+ 0.2
5	90	46.2	44.6	- 1.6	- 3.5	49.4	+ 3.2	+ 6.9	49.7	+ 3.5	+ 7.6
6	120	42.1	35.3	- 6.8	- 16.2	42.6	+ 0.5	+ 1.2	43.0	+ 0.9	+ 2.1
Σ				+ 33.5	+ 45.3		+ 13.6	+ 18.2		+ 14.0	+ 19.6
M				± 5.6	± 7.6		± 2.3	± 3.0		± 2.3	± 3.3

図-2・2・1 高松 50 年確率短時間降雨強度式比較



これらの図表から考察すると、高松の短時間確率降雨強度式については、Sherman, 久野形の適合度が高く、50年確率において、解析値と実測値の偏差百分率が3.0~3.3%となり、Talbot形の7.6%と比べて、かなり小さく、決定式は、Sherman形、または、久野形であることが明らかであり、また、その特性係数値が、 $\beta_{100}^{10} = 2.47$ 、 $\beta_{50}^{10} = 2.49$ 、 $\beta_{30}^{10} = 2.51$ と2.5前後の値をとっていることにも注目したい。

⑥ 高知の確率降雨強度式の解析

高知の短時間確率降雨強度式の解析についても同様に、つぎの表-2・2・12、表-2・2・13、および、図-2・2・2に示したとおりである。

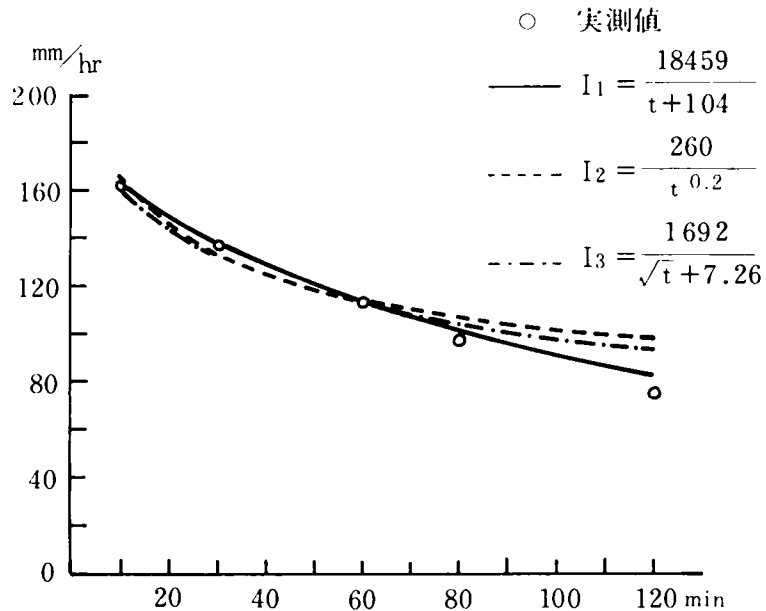
表-2・2・12 高知短時間確率降雨強度式

		単位 mm/hr		
式形 確率年		Talbot 形	Sherman 形	石 黒 形
100 年		$\frac{23161}{t+125}$	$\frac{257}{t^{0.18}}$	$\frac{2123}{\sqrt{t}+9.23}$
50 年		$\frac{18459}{t+104}$	$\frac{260}{t^{0.20}}$	$\frac{1692}{\sqrt{t}+7.26}$
30 年		$\frac{15585}{t+90}$	$\frac{263}{t^{0.23}}$	$\frac{1429}{\sqrt{t}+6.01}$

表-2・2・13 高知決定式形の適合度比較

50 年確率実測値			単位 mm/hr								
No	t (分間)	I (降雨強度)	$I_1 = \frac{18459}{t+104}$			$I_2 = \frac{260}{t^{0.20}}$			$I_3 = \frac{1692}{\sqrt{t}+7.26}$		
			I_1	a_1	%	I_2	a_2	%	I_3	a_3	%
1	10	162.6	161.9	- 0.7	- 0.4	164.6	+2.0	+ 1.2	162.4	- 0.2	- 0.1
2	30	138.4	137.8	- 0.6	- 0.4	132.0	- 6.4	- 4.6	132.8	- 5.6	- 4.0
3	60	112.8	112.6	- 0.2	- 0.2	114.5	+ 1.7	+ 1.5	112.7	- 0.1	- 0.1
4	80	98.0	100.3	+ 2.3	+ 2.3	108.3	+10.3	+10.5	104.4	+ 6.4	+ 6.5
5	120	74.1	82.4	+ 8.3	+11.2	99.6	+25.5	+34.4	92.9	+18.8	+25.4
Σ				± 12.1	± 14.5		+45.9	± 52.2		± 31.1	± 36.1
M				± 2.4	± 2.9		± 9.2	± 10.4		± 6.2	± 7.2

図-2・2・2 高知50年確率短時間降雨強度式比較



この解析の結果、高知の短時間確率降雨強度式については、Talbot 形の適合度が高く、解析値と実測値の偏差百分率は、2.9%となり、石黒形の7.2%、Sherman 形の10.4%と比べて、かなり小さく、決定式は、Talbot 形である。また、その特性係数値が、 $\beta_{100}^{10} = 1.37$ 、 $\beta_{50}^{10} = 1.44$ 、 $\beta_{30}^{10} = 1.50$ と1.4前後の値をとっていることにも注目したい。

© 松山の確率降雨強度式の解析

松山の短時間確率降雨強度式の解析については、つぎの表-2・2・14、表-2・2・15、および、図-2・2・3に示したとおりである。

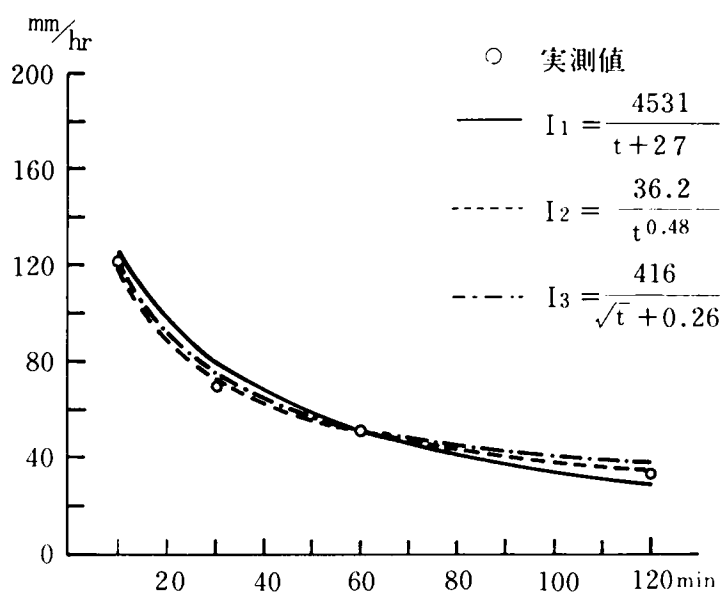
表-2・2・14 松山短時間確率降雨強度式

式形 確率年	単位 mm/hr		
	Talbot 形	Sherman 形	石 黒 形
100 年	$\frac{5167}{t+30}$	$\frac{372}{t^{0.46}}$	$\frac{474}{\sqrt{t+0.48}}$
50 年	$\frac{4531}{t+27}$	$\frac{362}{t^{0.48}}$	$\frac{416}{\sqrt{t+0.26}}$
30 年	$\frac{4119}{t+26}$	$\frac{351}{t^{0.49}}$	$\frac{378}{\sqrt{t+0.14}}$

表-2・2・15 松山決定形の適合度比較

50年確率実測値			$I_1 = \frac{4531}{t+27}$			$I_2 = \frac{362}{t^{0.48}}$			$I_3 = \frac{416}{\sqrt{t+0.26}}$		
No	t (分間)	I (降雨強度)	I_1	a_1	%	I_2	a_2	%	I_3	a_3	%
1	10	121.2	122.5	+ 1.3	+ 1.1	119.0	- 2.2	- 1.8	121.6	+ 0.4	+ 0.3
2	30	69.8	79.5	+ 8.7	+12.5	70.7	+ 0.9	+ 1.3	72.5	+ 2.7	+ 3.9
3	60	51.9	52.0	+ 0.1	+ 0.2	50.7	- 1.2	- 2.3	51.9	0	0
4	120	33.9	30.8	- 3.1	- 9.1	36.4	+ 2.5	+ 7.4	37.1	+ 3.2	+ 9.4
Σ				+13.2	+22.9		+ 6.8	+12.8		+ 6.3	+13.6
M				+ 3.3	+ 5.7		+ 1.7	+ 3.2		+ 1.6	+ 3.4

図-2・2・3 松山50年確率短時間降雨強度式比較



この解析の結果、松山の短時間確率降雨強度式については、高松と同じく、Sherman形と石黒形の適合度が高く、解析値と実測値の偏差百分率をみても、3.2～3.4%、Talbot形の5.7%と比べて小さく、その決定式は、Sherman形、または、石黒形である。この場合の特性係数値は、 $\beta_{100}^{10} = 2.26$ 、 $\beta_{50}^{10} = 2.34$ 、 $\beta_{30}^{10} = 2.39$ と2.3前後の値をとっている。

① 徳島の確率降雨強度式の解析

徳島の短時間確率降雨強度式の解析については、つぎの表-2・2・16、表-2・2・17、および、図-2・2・4に示すとおりとなった。

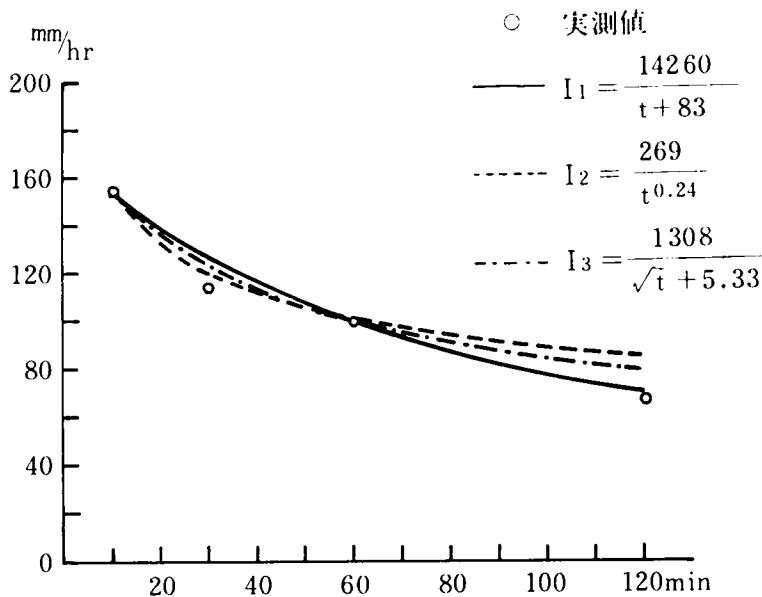
表-2・2・16 徳島短時間確率降雨強度式

		単位 mm/hr		
式形 確率年	Talbot 形	Sherman 形	石 黒 形	
100 年	$\frac{17568}{t+99}$	$\frac{263}{t^{0.21}}$	$\frac{1611}{\sqrt{t+6.80}}$	
50 年	$\frac{14260}{t+83}$	$\frac{269}{t^{0.24}}$	$\frac{1308}{\sqrt{t+5.33}}$	
30 年	$\frac{12277}{t+73}$	$\frac{270}{t^{0.26}}$	$\frac{1126}{\sqrt{t+4.48}}$	

表-2・2・17 徳島決定式形の適合度比較

50 年確率実測値			$I_1 = \frac{14260}{t+83}$			$I_2 = \frac{269}{t^{0.24}}$			$I_3 = \frac{1308}{\sqrt{t+5.33}}$		
No.	t (分間)	I (降雨強度)	I_1	a_1	%	I_2	a_2	%	I_3	a_3	%
1	10	153.6	153.3	- 0.3	- 0.2	154.6	+ 1.0	+ 0.6	154.1	+ 0.5	+ 0.3
2	30	113.0	126.2	+13.2	+11.7	119.0	+ 6.0	+ 5.3	121.0	+ 8.0	+ 7.1
3	60	100.0	99.7	- 0.3	- 0.3	100.7	+ 0.7	+ 0.7	100.0	0	0
4	120	67.2	70.2	+ 3.0	+ 4.5	85.1	+17.9	+26.6	80.3	+13.1	+19.5
Σ				+16.8	+16.7		+25.6	+33.2		+21.6	+26.9
M				+ 4.2	+ 4.2		+ 6.4	+ 8.3		+ 5.4	+ 6.7

図-2・2・4 徳島50年確率短時間降雨強度式比較



すなわち、徳島の短時間確率降雨強度式については、高知と同じく、Talbot形の適合度が高く、解析値と実測値の偏差百分率をみても4.2%と、石黒形の6.7%，Sherman形の8.3%と比べて、かなり小さく、その決定式形は、Talbot形である。また、特性係数値は、 $\beta_{100}^{10} = 1.46$ ， $\beta_{50}^{10} = 1.54$ ， $\beta_{30}^{10} = 1.60$ と1.5前後の値をとっている。

④ 四国地方の短時間降雨の特性

以上、四国各地の短時間確率降雨強度式の解析を行なった結果、もっとも、適合度の高い式形については、降雨量の多い高知、徳島においては、Talbot形、降雨量の少ない高松、松山においては、Sherman形、または、久野、石黒形であることを見出し、また、この解析に用いた特性係数値については、その値は、その地方の降雨特性によって決定されるものであり、また、この値が降雨強度式の式形と関係のあることを明らかにした。

そして、四国各地の短時間特性係数値 β_N^{10} については、つぎの表-2・2・18に示すことにした。

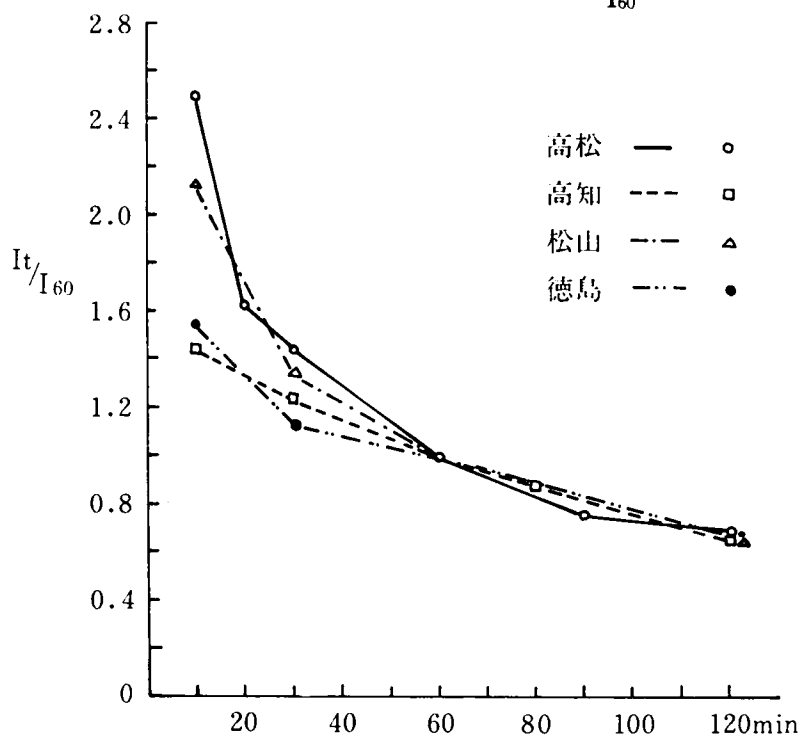
表-2・2・18 四国各地の短時間特性係数値 β_N^{10}

地点 確率年	高 松	高 知	松 山	徳 島
100 年	2.47	1.37	2.26	1.46
50 年	2.49	1.44	2.34	1.54
30 年	2.51	1.50	2.39	1.60

つぎに、これらの解析をもとに、短時間の降雨特性を考察すると、降雨量の多い地方においては、10分間、60分間ともに、降雨強度は大きく、したがって、特性係数値は小さく、降雨強度曲線の勾配は、緩やかとなり、その適合式は、分母が一次式である Talbot 形に近くなる。一方、降雨量の少ない地方においては、10分間降雨強度が60分間降雨強度より、非常に、大きい値となる場合が多く、したがって、その特性係数値は、大きく、降雨強度曲線の勾配は、急となり、その適合式は、分母が指数式である、Sherman 形、または、久野、石黒形に漸近するものと考察された。

また、四国地方の短時間降雨特性を考察するため、50年確率の $\frac{I_t}{I_{60}}$ を解析し、つぎの図-2・2・5 に示すことにした。

表-2・2・5 四国主要地点50年確率短時間降雨強度の $\frac{I_t}{I_{60}}$



この図を見ると、Talbot 形と Sherman、久野、石黒形の両式形の特性係数値の変化点は、 β_N^{10} が 2.0 前後ではないかと推察される。

したがって、特性係数法を用いて短時間確率降雨強度式を算定する場合の式形については、特性係数値が 2.0 以上の場合は、式形を Sherman、または、久野、石黒形、2.0 以下の場合は、Talbot 形と判断をして、解析をすればよいことを究明した。なお、この変化点の考察については、今後とも、降雨特性の異なる数多くの雨量観測所の調査、解析をして、適確な値を見出していきたい。

第 3 節 長時間確率降雨強度式の算定法と考察

1 長時間確率降雨強度式の算定法

前節においては、農地の排水路、都市の下水道計画などのような小区域における、計画降雨の基本となる、短時間確率降雨強度式の算定法を考察したが、本節においては、流域面積の広い河川の治水計画策定のための、計画降雨について考察する。

一般に、流域が広くなると、降雨の空間的分布はもとより、流出場も、複雑な流出、流下のプロセスを包含してくる。したがって、厳密には、流域を分割し、分布型の流出モデルで、洪水追跡を図らなければならない。昨今、こうした立場から、鋭意研究が進められており、いくつかの成果もみられるようになってきた。しかし、現実の治水計画策定には、まだ、用いられることが少ないので、むしろ、従来から用いられてきている計画降雨、いわゆる、長時間確率降雨強度式の算定法について述べることにする。

すなわち、日雨量を基準とした解析法には、物部式²⁶⁾、伊藤式²⁷⁾、川上式²⁸⁾などがある。

$$\text{物部式} \quad I_2 = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad \text{-----} \quad (2.3.1)$$

$$\text{伊藤式} \quad I_3 = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{34.7}{t^{1.35} + 1.5} \right) \quad \text{-----} \quad (2.3.2)$$

$$\text{川上式} \quad I_4 = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{30}{t + 6} \right) \quad \text{-----} \quad (2.3.3)$$

ここに、 I : t 時間中の平均降雨強度 (mm/hr)

t : 降雨継続時間 (hr)

$\frac{R_{24}}{24}$: 24 時間降雨強度 (mm/hr)

上式は、いづれも、24時間降雨量が算定されておれば、任意継続時間 t に対する降雨強度を算定することができ、また、24時間降雨量に超過確率降雨量を適用すると、確率降雨強度も算出することができるものである。

また、最近の算定法としては、石黒提唱の短時間降雨の解析と同じ手法を用いた算定法が研究⁹⁾されている。

すなわち、その特性係数法による解析については、式形は、Talbot 形を適用し、また、 $t = 24$ 時間において、特性係数 $\beta_N = 1.0$ という条件によって、解析をする手法である。

したがって、この解析法は、つぎの式で表わされる。

$$I_N = \beta_N I_N^{24} \quad \text{----- (2.3.4)}$$

$$I_N = \frac{a'}{t+b} I_N^{24} \quad \text{----- (2.3.5)}$$

$$\begin{aligned} a' &= 24 + b \\ b &= \frac{24 - \beta_N^t \cdot t}{\beta_N^t - 1} \end{aligned} \quad \text{----- (2.3.6)}$$

ここに、 I_N : N 年確率の t 時間降雨強度 (mm/hr)

t : 降雨継続時間 (hr)

また、 β_N^t は、特性係数値であり、それぞれ、同一確率年の 24 時間降雨強度に対する t 時間降雨強度の比である。

いま、長時間確率降雨強度式の算定にあたっては、調査の容易である、 $t = 1.0$ 時間を用いると、特性係数値 β_N^1 は、つぎの式で表わされる。

$$\beta_N^1 = \frac{I_N^1}{I_N^{24}} \quad \text{----- (2.3.7)}$$

また、地方定数 a' 、 b は、つぎの式で算出することができる。

$$\begin{aligned} a' &= 24 + b \\ b &= \frac{24 - \beta_N^1}{\beta_N^1 - 1} \end{aligned} \quad \text{----- (2.3.8)}$$

したがって、特性係数法による長時間確率降雨強度式の解析は、同一確率年の 1 時間と 24 時間の降雨強度が解析されておれば、降雨強度式形は、Talbot 形とし、解析は、式(2.3.4)から式(2.3.8)までの式を用いて、簡単に解析することができる。

つぎに、四国各地の長時間確率降雨強度式の解析に、これらの算定法を適用し、その確率降雨強度式の適合度を考察することにした。

2 四国各地の長時間確率降雨強度式の解析と考察

② 四国各地の確率降雨強度式の解析

高松の長時間確率降雨強度式の解析については、確率降雨強度の資料として表-2・2・5を、算定法としては、特性係数法、物部式、伊藤式、および、川上式の4方法を適用して行なった。

まず、特性係数法の解析過程を、つぎの表-2・3・1に示す。

表-2・3・1 高松長時間確率降雨強度式の解析

単位 mm/hr

確率年	I_N	I_N^{24}	$\beta_N^1 = \frac{I_N}{I_N^{24}}$	$\beta_N^1 - 1$	$24 - 1 \times \beta_N^1$	$b = \frac{24 - 1 \times \beta_N^1}{\beta_N^1 - 1}$	$a' = 24 + b$	$\beta_N = \frac{a'}{t + b}$	$I_N = \beta_N I_N^{24}$
100 年	67.2	9.6	7.00	6.00	17.00	2.83	26.83	$\frac{26.83}{t + 2.83}$	$\frac{257.6}{t + 2.83}$
50 年	60.9	8.7	7.00	6.00	17.00	2.83	26.83	$\frac{26.83}{t + 2.83}$	$\frac{233.4}{t + 2.83}$

また、求める確率降雨強度式は、表-2・3・2に示すとおりとなった。

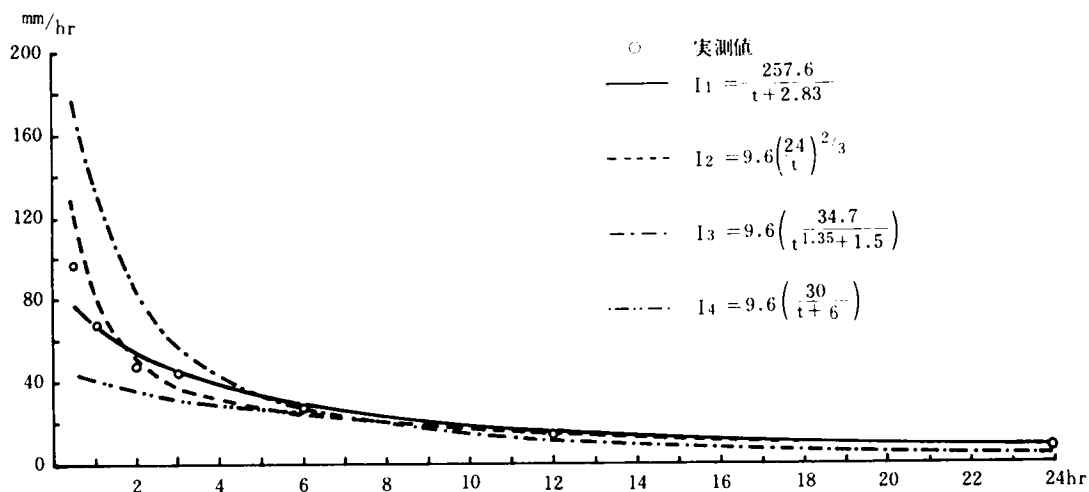
表-2・3・2 高松長時間確率降雨強度式

単位 mm/hr

解析法 確率年	特性係数法 (I_1)	物 部 式 (I_2)	伊 藤 式 (I_3)	川 上 式 (I_4)
100 年	$\frac{257.6}{t + 2.83}$	$9.6 \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$	$9.6 \left(\frac{34.7}{t^{1.35} + 1.5} \right)$	$9.6 \left(\frac{30}{t + 6} \right)$
50 年	$\frac{233.4}{t + 2.83}$	$8.7 \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$	$8.7 \left(\frac{34.7}{t^{1.35} + 1.5} \right)$	$8.7 \left(\frac{30}{t + 6} \right)$

つぎに、これら各式の適合度について解析を行なったが、そのうち、各式の100年確率降雨強度曲線を図示したものが、つぎの図-2・3・1である。

図-2・3・1 高松長時間100年確率降雨強度式比較



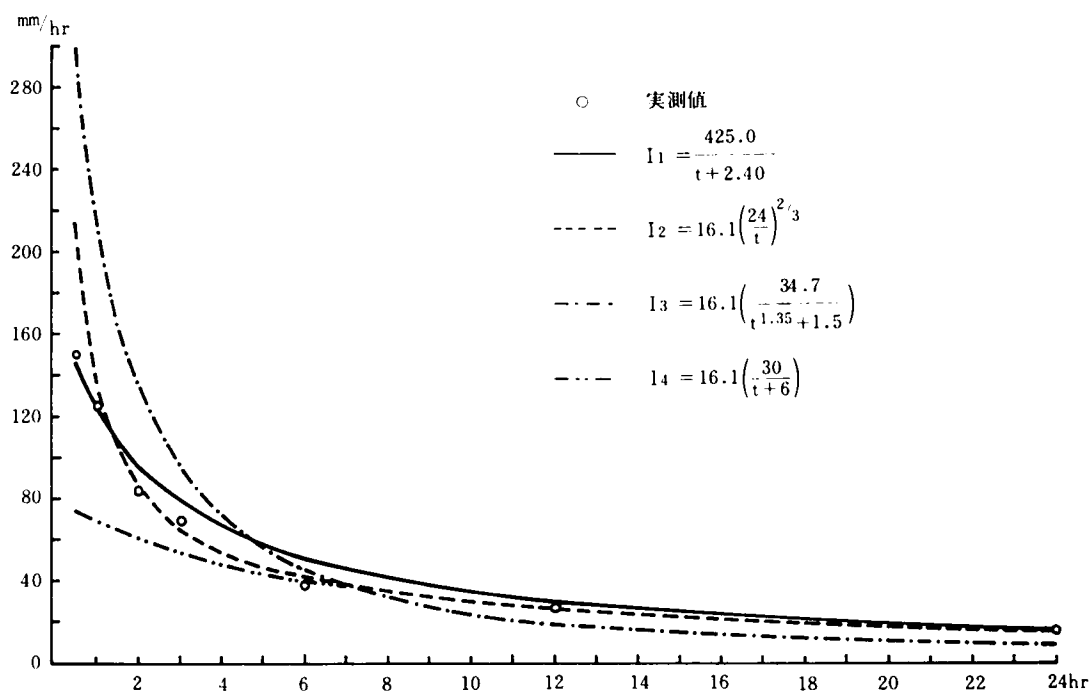
以下、高知においては、同じ手法を用いて、解析、考察し、強度式は、つぎの表-2・3・3、曲線図は、図-2・3・2 に図示をすることにした。

表-2・3・3 高知長時間確率降雨強度式

単位 mm/hr

解析法 確率年	特性係数法 (I_1)	物 部 式 (I_2)	伊 藤 式 (I_3)	川 上 式 (I_4)
100 年	$\frac{425.0}{t + 2.40}$	$16.1 \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$	$16.1 \left(\frac{34.7}{t^{1.35} + 1.5} \right)$	$16.1 \left(\frac{30}{t + 6} \right)$
50 年	$\frac{391.8}{t + 2.47}$	$14.8 \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$	$14.8 \left(\frac{34.7}{t^{1.35} + 1.5} \right)$	$14.8 \left(\frac{30}{t + 6} \right)$

図-2・3・2 高知長時間100年確率降雨強度式比較



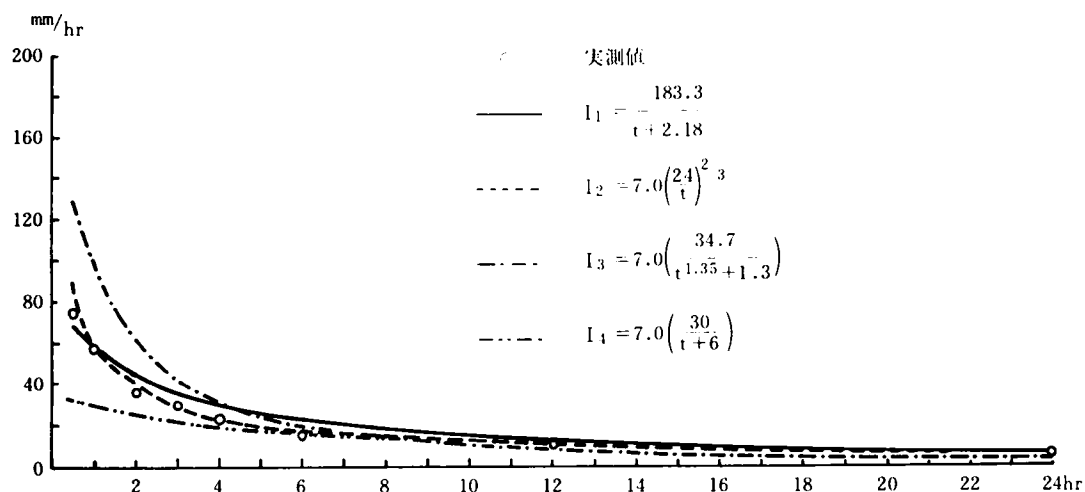
松山においては、式は、つぎの表-2・3・4、図は、図-2・3・3に図示をした。

表-2・3・4 松山長時間確率降雨強度式

単位 mm/hr

解析法 確率年	特性係数法 (I_1)	物 部 式 (I_2)	伊 藤 式 (I_3)	川 上 式 (I_4)
100 年	$\frac{183.3}{t + 2.18}$	$7.0 \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$	$7.0 \left(\frac{34.7}{t^{1.35} + 1.5} \right)$	$7.0 \left(\frac{30}{t + 6} \right)$
50 年	$\frac{173.9}{t + 2.35}$	$6.6 \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$	$6.6 \left(\frac{34.7}{t^{1.35} + 1.5} \right)$	$6.6 \left(\frac{30}{t + 6} \right)$

図-2.3.3 松山長時間100年確率降雨強度式比較



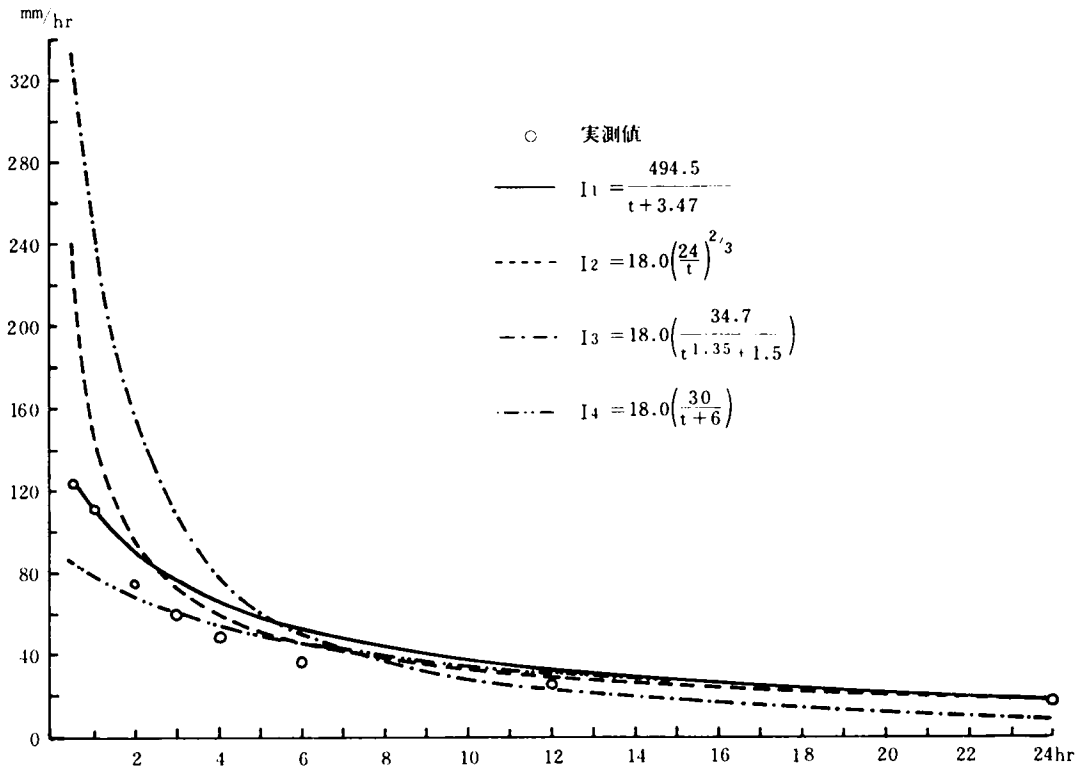
また、徳島においては、式は、つぎの表-2.3.5、図は、図-2.3.4 に図示をした。

表-2.3.5 徳島長時間確率降雨強度式

単位 mm/hr

解析法 確率年	特性係数法 (I_1)	物 部 式 (I_2)	伊 藤 式 (I_3)	川 上 式 (I_4)
100 年	$\frac{494.5}{t + 3.47}$	$18.0 \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$	$18.0 \left(\frac{34.7}{t^{1.35} + 1.5} \right)$	$18.0 \left(\frac{30}{t + 6} \right)$
50 年	$\frac{441.3}{t + 3.41}$	$16.1 \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$	$16.1 \left(\frac{34.7}{t^{1.35} + 1.5} \right)$	$16.1 \left(\frac{30}{t + 6} \right)$

図-2・3・4 徳島長時間100年確率降雨強度式比較



⑥ 確率降雨強度式の考察

以上、四国地方の長時間確率降雨強度式の算定について、特性係数法、物部式、伊藤式、および、川上式を適用し、これらの算定式の適合度についても、その解析値と実測値の偏差を図表にし、考察した。

この結果、図表でも分かるごとく、各式は、それぞれ、その特性をもち、その適用時間帯が、特定の時間のみであり、全般的に、適合性のよい特性係数法にしても、適合性のよい時間帯は、30分間から1時間までと24時間附近であり、他の式にしても、6時間から24時間までのみが、比較的、適合度がよいことを明らかにした。

すなわち、高松においては、特性係数法は、1時間から24時間、物部式と伊藤式、および、川上式は、6時間から24時間までの適合性がよく、高知においては、特性係数法は、30分間から1時間と12時間から24時間、物部式は、2時間から24時間、川上式は、6時間から24時間までがよく、伊藤式は、全体によくないことが明らかとなった。また、松山においては、特性係数法は、12時間から24時間、物部

式は、1 時間から 24 時間、川上式は、4 時間から 24 時間、伊藤式は、6 時間から 24 時間までがよく、徳島においては、特性係数法は、30 分間から 1 時間と 24 時間附近、物部式と川上式は、12 時間から 24 時間までがよく、伊藤式は、全体的によくないことが明らかとなった。

したがって、現在、中小河川の治水計画に必要となっている計画降雨は、降雨継続時間が 30 分間から 6 時間までの時間帯の確率降雨強度であり、しかも、実測値との適合度の高いものが不可欠である。しかるに、これらの長時間確率降雨強度式については、いずれも、適合性は、特定の時間帯であり、普遍的な適合性に乏しく、中小河川の治水計画策定には、不十分であることを確信した。

第 4 節 結 語

第 2 章においては、治水計画の基本となる、計画降雨の推定に関する従来の研究について、まず、諸外国で研究、提案されている、数多くの降雨強度の公式を、式形によって分類し、その適用条件を明らかにした。その結果、降雨式形は、いわゆる、Talbot 形、Sherman 形、および、久野、石黒形に分類することができることを明らかにした。

つぎに、現在、わが国において、よく用いられている短時間確率降雨強度式と長時間確率降雨強度式の算定法につき論述し、また、四国各地に適用、考察し、その結果、中小河川治水計画に適用する計画降雨としては、いずれも、不適當であることを明らかにした。

したがって、本研究においては、第 3 章で論述する、中小河川治水計画に適用できる、適合度の高い中時間確率降雨強度式の算定法について考究することにした。

すなわち、第 1 節においては、諸外国で提案されている数多くの降雨強度の推定法を、式形によって分類し、降雨式形については、いわゆる、Talbot 形、Sherman 形、および、久野、石黒形に分類することを明らかにした。

第 2 節においては、短時間確率降雨強度式の算定法と考察として、算定法は、特性係数法による算定法につき論述した。また、四国各地の降雨は、全国的な降雨特性を代表すると考えられるので、四国各地について、短時間確率降雨強度式を解析し、その降雨

特性について考察した。その結果、適合度の高い短時間確率降雨強度式形については、降雨量の多い地方は、Talbot 形、少ない地方は、Sherman 形、または、久野、石黒形となることを見出した。また、その式形の変化点の特性係数値 β_N^{10} は、2.0 附近であることも見出し、特性係数値が、2.0 以上の場合は、Sherman 形、または、久野、石黒形、2.0 以下の場合は、Talbot 形を用いて解析すればよいことを究明した。

しかしながら、この短時間確率降雨強度式は、降雨継続時間が、10 分間から2時間までのものであり、流域面積の小さい場合には適用できるが、中小河川の治水計画策定には、不適當であることを明らかにした。

第3節においては、長時間確率降雨強度式の算定法と考察として、算定法は、物部式、伊藤式、川上式、および、特性係数法につき論述し、また、四国各地について、長時間確率降雨強度式を解析、考察した。その結果、各式は、それぞれ、特性をもち、その適用時間帯が、特定の時間のみであり、普遍的な適合性に乏しく、よって、中小河川の治水計画策定には、不十分であることを明らかにした。

参 考 文 献

- (1) V.T.Chow : Hydrologic Determination of water way Areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basins, Engineering Experiment Station Bulletin, No.462
- (2) C.W. Sherman : Maximum Rate of Rainfall at Boston, Trans, ASCE, Vol.54 (1905), P.179
- (3) Emil, Kuichling : Discussion on Maximum Rate of Rainfall, Trans, ASCE, Vol.54 (1905), P.195
- (4) C. E. Gregory : Rainfall and Runoff in Storm water Sewers, Trans, ASCE, Vol.58 (1907), P.475
- (5) S.D. Bleich : Rainfall Studies for New York, Trans, ASCE, Vol.100 (1935), PP.618~619 and 621
- (6) 石黒政儀 : 特性係数法による確率降雨強度式の算定法について, 土木学会論文集 第74号, 1961年, PP.19~26
- (7) 石黒政儀 : 下水道計画における降雨強度算定の水文統計学的研究, 京大学位論文, 1961年
- (8) 石黒政儀 : 本邦における降雨強度式形の地形的特性について, 水道協会誌, 第313号, 1960年, PP.64~75
- (9) 岩井重久, 石黒政儀 : 応用水文統計学, 森北出版, 1972年, PP.148~177
- (10) 久野重一郎 : 降雨の新法則について, 土木学会誌, 第13巻, 第2号, 1927年
- (11) 金丸昭治, 高埴琢馬 : 水文学, 朝倉書店, 昭和50年, PP.22~30, 64~67, 71~77
- (12) 池淵周一 : 計画降雨, 土木学会水理委員会, 1976年, PP.49~65
- (13) 土木学会 : 水理公式集, 昭和38年増補改訂版, 昭和42年, PP.384~389
- (14) 土木学会 : 水理公式集, 昭和46年度改訂版, 昭和49年, PP.105~107 433~434
- (15) 吉川秀夫 : 河川工学, 朝倉書店, 昭和41年, PP.15~23
- (16) 高松气象台 : 高松気象観測日報, 1942年~1974年

- (17) 高知気象台 : 高知気象観測日報, 1941年～1974年
- (18) 松山気象台 : 松山気象観測日報, 1950年～1974年
- (19) 徳島気象台 : 徳島気象観測日報, 1950年～1974年
- (20) 岩井重久 : 水文学における非対称分布について, 土木学会論文集, 第1～2号,
1946年
- (21) 石原藤次郎, 岩井重久 : 水文学, 水文図学, 水文統計学, 土木技術, 1946年
- (22) 石原藤次郎, 岩井重久 : 降雨曲線の決定に関する統計的方法, 建設工学, 第1巻,
第1号, 1947年
- (23) 岩井重久 : 継続曲線の水文統計学的研究, 京大学位論文, 1948年
- (24) 岩井重久 : 確率降雨曲線とその応用, 土木技術, Vol.4, No.8～11, 1949年
- (25) 角屋 睦 : 水文統計論, 土木学会水理委員会, 1964年
- (26) 本間仁, 安芸峻一 : 物部水理学, 岩波書店, 1973年, PP.562～568,
585～586
- (27) 山本三郎 : 河川工学, 朝倉書店, 昭和33年, PP.93～98
- (28) 伊藤 剛 : 昭和13年の豪雨記録より導きたる雨量強度式について, 内務省,
土木試験所報告, No.53, 1940年
- (29) 川上謙太郎 : 河川洪水ピーク流量に関する研究, 土木学会論文集, 第79号,
1962年, PP.1～12

第3章 中小河川に適用する計画降雨の合理的算定法とその考察

第1節 中時間確率降雨強度式の算定法

前章において、考察した短時間確率降雨強度式は、その適用時間帯が10分間から2時間までのものであり、また、長時間確率降雨強度式は、いずれの式も、その適用時間帯が特定の時間帯のもので、普遍的な適合性に乏しく、とくに、現在全国的に治水事業の要望されている中小河川の治水計画策定に必要な時間帯、30分間から6時間までに対して、いずれの算定法も、その適合性に乏しく、満足することができなかった。

したがって、本研究においては、降雨継続時間が、30分間から12時間までの時間帯の降雨を対象とし、これを「中時間降雨」と名づけて、この時間帯に、もっとも高い適合度をもった、中時間確率降雨強度式の算定法について研究することにした。

この基本的な考え方は、短時間、長時間の場合と同じく特性係数法を用いるが、中時間帯に、もっとも適合するような形に修正することを提案した。

一般に、降雨強度式は、特性係数¹⁾²⁾を用いると、前述のように、つぎの式で表わされる。

$$I_N = \beta_N R_N \cdots \cdots (3.1.1)$$

また、降雨強度式形も³⁾⁴⁾、つぎの式で表わされる。

$$\text{Talbot形 Case I: } I_N = \beta_N R_N = \frac{a'}{t+b} R_N \cdots \cdots (3.1.2)$$

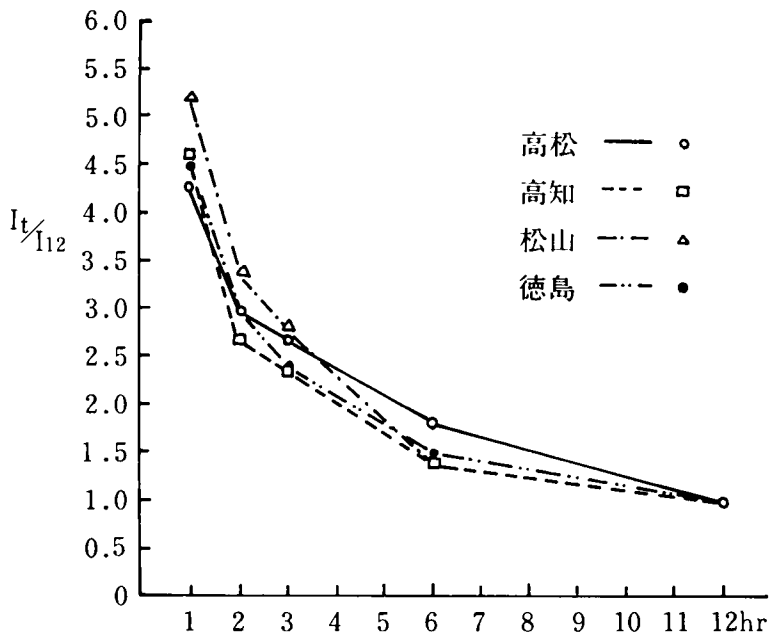
$$\text{Sherman形 Case II: } I_N = \beta_N R_N = \frac{a'}{t^n} R_N \cdots \cdots (3.1.3)$$

$$\text{久野, 石黒形 Case III: } I_N = \beta_N R_N = \frac{a'}{\sqrt{t \pm b}} R_N \cdots \cdots (3.1.4)$$

ここにおいて、中時間確率降雨強度式の算定法に関する研究の焦点は、降雨継続時間が、30分間から12時間までの適用時間帯において、もっとも高い適合度をもった式を解析することである。

そこで、まず、各時間の確率降雨強度の12時間に対する比、すなわち、四国の主要地点における、 $\frac{I_t}{I_{12}}$ について、各確率年ごとに解析、考察した。図3・1・1は、そのうち100年確率の場合を図示したものである。

図-3・1・1 四国主要地点100年確率降雨強度の I_t/I_{12}



この図を見ると、各地とも、各時間の値については、基準時間を6時間に採用した曲線が、12時間の曲線よりも適合性のよいことが考えられる。

よって、いま、考究をしている算定法については、とくに、6時間以内の適合度を高める目的があるので、 $t = 6$ 時間において特性係数が、 $\beta_N = 1.0$ となるような条件によって解析をすることに着目した。

したがって、求める中時間確率降雨強度式は、つぎの式で表わすことができる。

$$I_N = \beta_N I_N^6 \text{ ----- (3・1・5)}$$

$$\text{Case I : } I_N = \beta_N I_N^6 = \frac{a'}{t+b} I_N^6 \text{ ----- (3・1・6)}$$

$$\text{Case II : } I_N = \beta_N I_N^6 = \frac{a'}{t^n} I_N^6 \text{ ----- (3・1・7)}$$

$$\text{Case III : } I_N = \beta_N I_N^6 = \frac{a'}{\sqrt{t} \pm b} I_N^6 \text{ ----- (3・1・8)}$$

ここに, I_N : t 時間 N 年確率降雨強度 (mm/hr)

β_N : 特性係数

I_N^6 : 6 時間 N 年確率降雨強度 (mm/hr)

a' , b , n は, 地方定数

また, 上式の地方定数 a' , b , n は, つぎの式で算出することができる。

$$\text{Case I : } \left. \begin{array}{l} a' = 6 + b \\ b = \frac{6 - \beta_N^t \cdot t}{\beta_N^t - 1} \end{array} \right\} \text{-----} (3 \cdot 1 \cdot 9)$$

$$\text{Case II : } \left. \begin{array}{l} n = \frac{\log a'}{\log 6} \\ \log a' = \frac{\log \beta_N^t \cdot \log 6}{\log 6 - \log t} \end{array} \right\} \text{-----} (3 \cdot 1 \cdot 10)$$

$$\text{Case III : } \left. \begin{array}{l} a' = \sqrt{6} - b \\ b = \frac{\beta_N^t \cdot \sqrt{t} - \sqrt{6}}{\beta_N^t - 1} \end{array} \right\} \text{-----} (3 \cdot 1 \cdot 11)$$

ここで, 特性係数値 β_N^t は, それぞれ, 同一確率年の 6 時間降雨強度に対する, t 時間降雨強度の比であるが, いま, この特性係数値の算定には, 降雨量の基本量であり, 容易に調査することのできる, $t = 1.0$ 時間を用いることにした。

よって, 特性係数値 β_N^1 は, つぎの式で表わされる。

$$\beta_N^1 = \frac{I_N^1}{I_N^6} \text{-----} (3 \cdot 1 \cdot 12)$$

また, 各強度式形の地方定数は, つぎの式で算出することができる。

$$\text{Case I : } \left. \begin{array}{l} a' = 6 + b \\ b = \frac{6 - \beta_N^1}{\beta_N^1 - 1} \end{array} \right\} \text{-----} (3 \cdot 1 \cdot 13)$$

$$\text{Case Ⅱ : } n = \frac{\log a'}{\log 6} \quad \text{----- (3・1・14)}$$

$$\log a' = \frac{\log \beta_N^1 \cdot \log 6}{\log 6 - \log 1} = \log \beta_N^1$$

$$\text{Case Ⅲ : } a' = \sqrt{6} - b \quad \text{----- (3・1・15)}$$

$$b = \frac{\beta_N^1 - \sqrt{6}}{\beta_N^1 - 1}$$

すなわち、中時間確率降雨強度式の算定法については、同一確率年の1時間と6時間の降雨強度が解析されておれば、この新しい特性係数値を用いて、容易に解析をすることができる。その手順を述べれば、特性係数値は、式(3・1・12)を用いて算出し、また、降雨強度式形がCaseⅠの場合は、式(3・1・6), および、式(3・1・13), CaseⅡの場合は、式(3・1・7), および、式(3・1・14), CaseⅢの場合は、式(3・1・8), および、式(3・1・15)を用いて解析をする。そして、解析をした各式の適合性については、その解析値と実測値とを比較、解析し、もっとも適合性の高い式形を選定し、その式を中時間確率降雨強度式として採用する。かくして、求めた式は、中時間帯において、もっとも適合度の高い適確な確率降雨強度式となる。

第2節においては、本節で考究した新しい中時間確率降雨強度式の算定法を、四国の各地に適用し、その適合度を考察し、もっとも適合度の高い式形を究明することにした。

第2節 四国各地の中時間確率降雨強度式の解析と考察

1 中時間確率降雨強度式の解析

高松の中時間確率降雨強度式の解析については、確率降雨強度の資料として表-2・2・5を、解析法としては、前節において考究した、新しい特性係数値を用いた解析法を適用して行なった。

その解析の過程については、つぎの表-3・2・1に示す。

表-3・2・1 高松中時間確率降雨強度式の解析

単位mm/hr

Case I	確率年	I_N^1	I_N^6	$\beta_N^1 = \frac{I_N^1}{I_N^6}$	$\beta_N^1 - 1$	$6 - \beta_N^1$	$b = \frac{6 - \beta_N^1}{\beta_N^1 - 1}$	$a' = 6 + b$	$\beta_N = \frac{a'}{t + b}$	$I_N = \beta_N \cdot I_N^6$
	100年	6 7.2	2 7.5	2.4 4	1.4 4	3.5 6	2.4 7 2	8.4 7 2	$\frac{8.4 7 2}{t + 2.4 7}$	$\frac{2 3 3.0}{t + 2.4 7}$
	50年	6 0.9	2 4.0	2.5 4	1.5 4	3.4 6	2.2 4 7	8.2 4 7	$\frac{8.2 4 7}{t + 2.2 5}$	$\frac{1 9 7.9}{t + 2.2 5}$

Case II

確率年	I_N^1	I_N^6	$\beta_N^1 = \frac{I_N^1}{I_N^6}$	$\log \beta_N^1$	$\log a' - \log \beta_N^1$	a'	$n = \frac{\log a'}{\log 6}$	$\beta_N = \frac{a'}{t^n}$	$I_N = \beta_N \cdot I_N^6$
100年	6 7.2	2 7.5	2.4 4	0.3 8 7	0.3 8 7	2.4 3 8	0.5 0	$\frac{2.4 3 8}{t^{0.5 0}}$	$\frac{6 7.0}{t^{0.5 0}}$
50年	6 0.9	2 4.0	2.5 4	0.4 0 5	0.4 0 5	2.5 4 1	0.5 2	$\frac{2.5 4 1}{t^{0.5 2}}$	$\frac{6 1.0}{t^{0.5 2}}$

Case III

確率年	I_N^1	I_N^6	$\beta_N^1 = \frac{I_N^1}{I_N^6}$	$\beta_N^1 - 1$	$\beta_N^1 - \sqrt{6}$	$b = \frac{\beta_N^1 - \sqrt{6}}{\beta_N^1 - 1}$	$a' = \sqrt{6} - b$	$\beta_N = \frac{a'}{\sqrt{t - b}}$	$I_N = \beta_N \cdot I_N^6$
100年	6 7.2	2 7.5	2.4 4	1.4 4	-0.0 1	-0.0 1	2.4 6	$\frac{2.4 6}{\sqrt{t + 0.0 1}}$	$\frac{6 7.7}{\sqrt{t + 0.0 1}}$
50年	6 0.9	2 4.0	2.5 4	1.5 4	0.0 9	0.0 6	2.3 9	$\frac{2.3 9}{\sqrt{t - 0.0 6}}$	$\frac{5 7.4}{\sqrt{t - 0.0 6}}$

また、求める確率降雨強度式は、表-3・2・2 に示すとおりとなった。

表-3・2・2 高松中時間確率降雨強度式 単位mm/hr

式形 確率年	Talbot 形	Sherman 形	久野・石黒形
1 0 0 年	$\frac{2 3 3.0}{t + 2.4 7}$	$\frac{6 7.0}{t^{0.5 0}}$	$\frac{6 7.7}{\sqrt{t + 0.0 1}}$
5 0 年	$\frac{1 9 7.9}{t + 2.2 5}$	$\frac{6 1.0}{t^{0.5 2}}$	$\frac{5 7.4}{\sqrt{t - 0.0 6}}$

つぎに、求めた各式の適合度解析を行なったが、その解析については、表-3・2・3 に示すごとく、解析値と実測値を比較し、さらに、両者の偏差百分率を解析、考察した。この表-3・2・3 は、1 0 0 年確率の場合のものであり、また、図-3・2・1 は、これを図示したものである。

表-3・2・3 高松決定式形の適合度比較

100年確率 実測値			$I_1 = \frac{233.0}{t+2.47}$			$I_2 = \frac{67.0}{t^{0.50}}$			$I_3 = \frac{67.7}{\sqrt{t+0.01}}$		
No.	t(時間)	I(mm/hr)	I_1	a_1	%	I_2	a_2	%	I_3	a_3	%
1	0.5	97.4	78.5	-18.9	-19.4	94.8	-2.6	-2.7	94.0	-3.4	-3.5
2	1.0	67.2	67.1	-0.1	-0.1	67.0	-0.2	-0.3	67.0	-0.2	-0.3
3	2.0	47.5	52.1	+4.6	+9.7	47.4	-0.1	-0.2	47.7	-0.2	-0.4
4	3.0	45.0	42.6	-2.4	-5.3	38.7	-6.3	-14.0	38.9	-6.1	-13.6
5	6.0	27.5	27.5	0	0	27.4	-0.1	-0.4	27.5	0	0
6	12.0	15.7	16.1	+0.4	+2.5	19.3	+3.6	+22.9	19.5	+3.8	+24.2
Σ				±2.6.4	±37.0		±12.9	±40.5		±13.7	±42.0
M				±4.4	±6.2		±2.2	±6.8		±2.3	±7.0

ここに、 I_1 : Talbot形の降雨強度式および降雨強度(mm/hr)

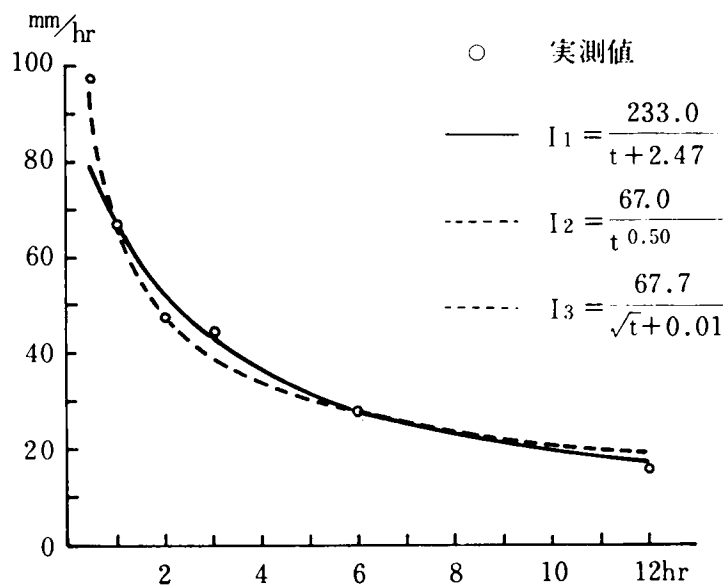
I_2 : Sherman形の降雨強度式および降雨強度(mm/hr)

I_3 : 久野, 石黒形の降雨強度式および降雨強度(mm/hr)

a_1, a_2, a_3 : 解析値と実測値の偏差

% : 上記の偏差百分率

図-3・2・1 高松中時間100年確率降雨強度式比較



高知の中時間確率降雨強度式の解析については、つぎの表-3・2・4、表-3・2・5、および、図-3・2・2に示したとおりである。

表-3・2・4 高知中時間確率降雨強度式

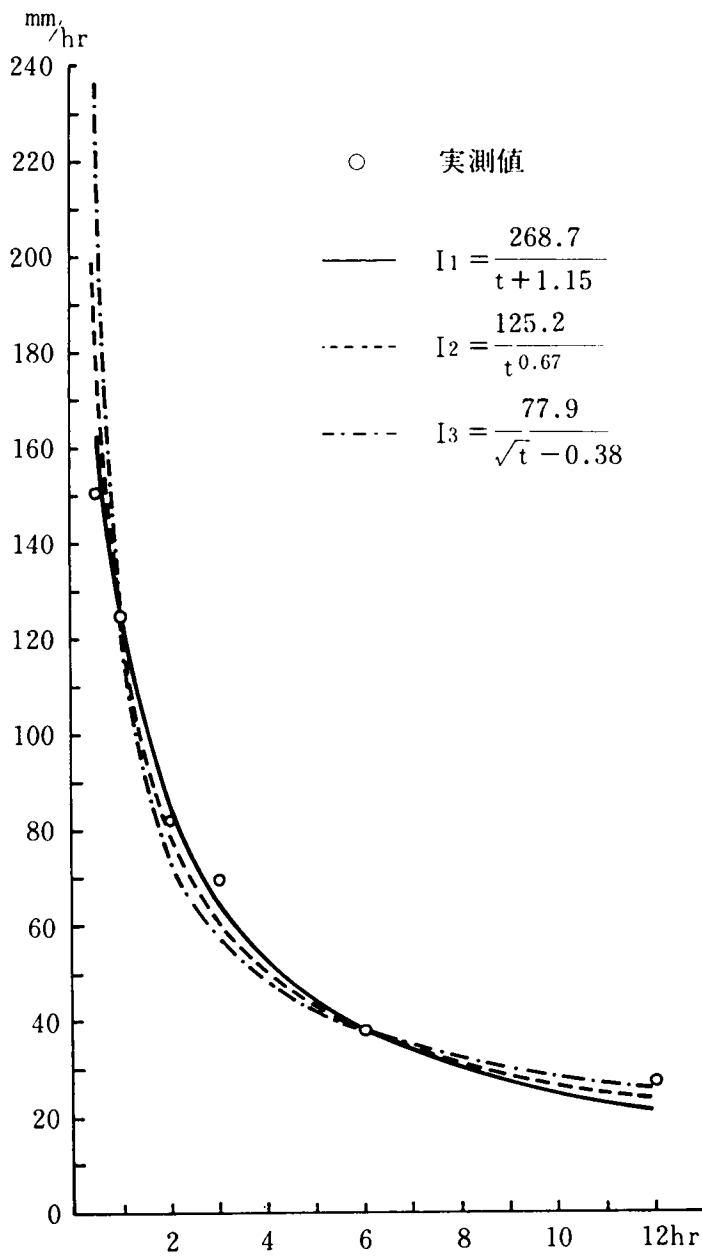
単位 mm/hr

式形 確率年	Talbot形	Sherman形	久野形
100年	$\frac{268.7}{t+1.15}$	$\frac{125.2}{t^{0.67}}$	$\frac{77.9}{\sqrt{t-0.38}}$
50年	$\frac{256.0}{t+1.27}$	$\frac{112.6}{t^{0.65}}$	$\frac{74.2}{\sqrt{t-0.34}}$

表-3・2・5 高知決定式形の適合度比較

100年確率実測値			$I_1 \quad \frac{268.7}{t+1.15}$			$I_2 \quad \frac{125.2}{t^{0.67}}$			$I_3 \quad \frac{77.9}{\sqrt{t-0.38}}$		
No.	t(時間)	I(mm/hr)	I_1	a_1	$\%e$	I_2	a_2	$\%e$	I_3	a_3	$\%e$
1	0.5	150.4	162.8	+12.4	+8.2	199.0	+48.6	+32.3	236.0	+73.2	+48.7
2	1.0	125.1	125.0	-0.1	-0.1	125.2	+0.1	+0.1	125.6	+0.5	+0.4
3	2.0	82.5	85.3	+2.8	+3.4	78.7	-3.8	-4.6	75.6	-6.9	-8.4
4	3.0	69.9	64.7	-5.2	-7.4	60.0	-9.9	-14.2	57.7	-12.2	-17.5
5	6.0	37.6	37.6	0	0	37.7	+0.1	+0.3	37.6	0	0
6	12.0	27.4	20.4	-7.0	-25.5	23.7	-3.7	-13.5	25.3	-2.1	-7.7
Σ				+27.5	+44.6		+66.2	+65.0		+94.9	+82.7
M				+4.6	+7.4		+11.0	+10.8		+15.8	+13.8

圖-3・2・2 高知中時間100年確率降雨強度式比較



また、松山の中時間確率降雨強度式の解析については、表-3・2・6，表-3・2・7
および、図-3・2・3に示したとおりである。

表-3・2・6 松山中時間確率降雨強度式

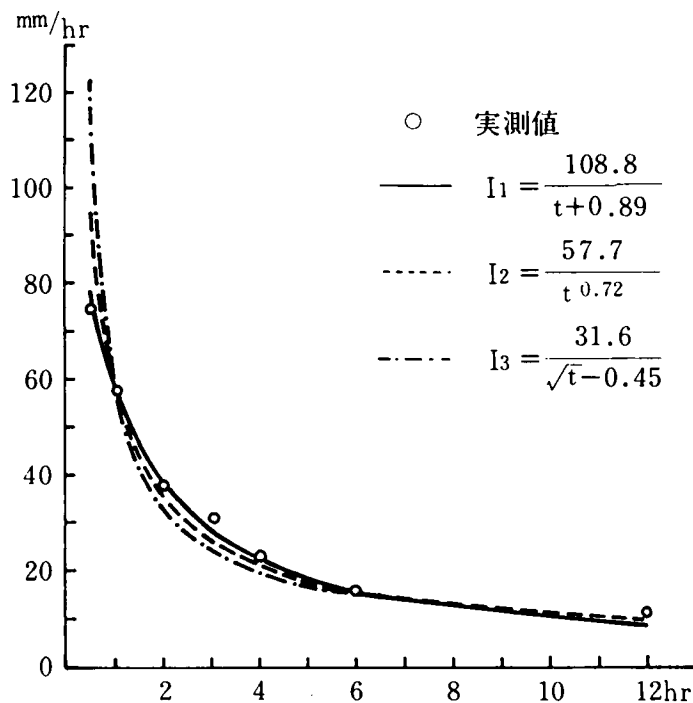
単位mm/hr

式形 確率年	Talbot形	Sherman形	久野形
100年	$\frac{108.8}{t+0.89}$	$\frac{57.7}{t^{0.72}}$	$\frac{31.6}{\sqrt{t-0.45}}$
50年	$\frac{105.5}{t+1.03}$	$\frac{51.9}{t^{0.69}}$	$\frac{30.6}{\sqrt{t-0.41}}$

表-3・2・7 松山決定式の適合度比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{108.8}{t+0.89}$			$I_2 = \frac{57.7}{t^{0.72}}$			$I_3 = \frac{31.6}{\sqrt{t-0.45}}$		
No.	t (時間)	I (mm/hr)	I_1	a_1	%	I_2	a_2	%	I_3	a_3	%
1	0.5	75.0	78.3	+3.3	+4.4	94.6	+19.6	+26.0	121.5	+46.5	+62.0
2	1.0	57.6	57.6	0	0	57.7	+0.1	+0.2	57.5	-0.1	-0.2
3	2.0	37.3	37.6	+0.3	+0.8	35.0	-2.3	-6.2	32.9	-4.4	-11.8
4	3.0	30.3	28.0	-2.3	-7.6	26.1	-4.2	-13.9	24.7	-5.6	-18.5
5	4.0	22.9	22.2	-0.7	-3.1	21.2	-1.7	-7.4	20.4	-2.5	-10.9
6	6.0	15.8	15.8	0	0	15.9	+0.1	+0.6	15.8	0	0
7	12.0	11.0	8.4	-2.6	-23.6	9.6	-1.4	-12.7	10.5	-0.5	-4.5
Σ				+9.2	+39.5		+29.4	+67.0		+59.6	+107.9
M				+1.3	+5.6		+4.2	+9.6		+8.5	+15.4

図-3・2・3 松山中時間100年確率降雨強度式比較



つぎに、徳島の中時間確率降雨強度式の解析については、表-3・2・8、表-3・2・9、および、図-3・2・4に示したとおりである。

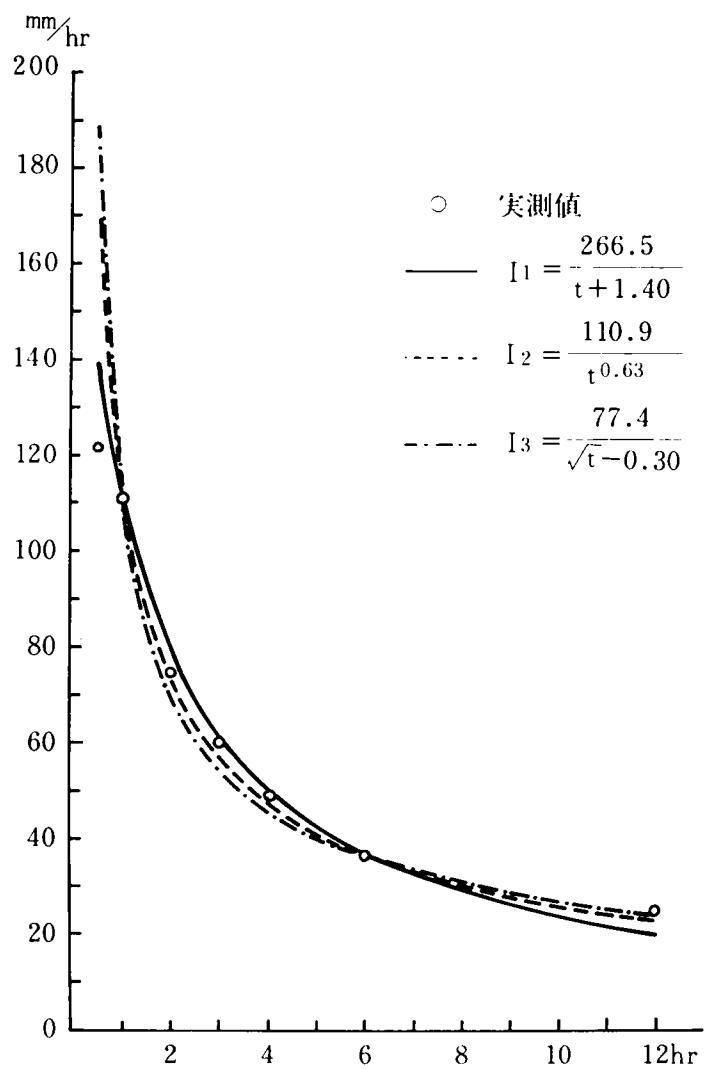
表-3・2・8 徳島中時間確率降雨強度式

式形 確率年	Talbot 形	Sherman 形	久野 形
100年	$\frac{266.5}{t+1.40}$	$\frac{110.9}{t^{0.63}}$	$\frac{77.4}{\sqrt{t}-0.30}$
50年	$\frac{248.6}{t+1.49}$	$\frac{99.9}{t^{0.62}}$	$\frac{72.0}{\sqrt{t}-0.28}$

表-3・2・9 徳島決定式の適合度比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{266.5}{t+1.40}$			$I_2 = \frac{110.9}{t^{0.63}}$			$I_3 = \frac{77.4}{\sqrt{t}-0.30}$		
No.	t (時間)	I (mm/hr)	I_1	a_1	%	I_2	a_2	%	I_3	a_3	%
1	0.5	121.6	140.0	+18.4	+15.1	170.6	+49.0	+40.3	188.8	+67.2	+55.3
2	1.0	110.7	111.0	+0.3	+0.3	110.9	+0.2	+0.2	110.6	-0.1	-0.1
3	2.0	74.9	78.4	+3.5	+4.7	71.5	-3.4	-4.5	69.7	-5.2	-6.9
4	3.0	60.0	60.6	+0.6	+1.0	55.5	-4.5	-7.5	54.1	-5.9	-9.8
5	4.0	48.6	49.4	+0.8	+1.6	46.4	-2.2	-4.5	45.5	-3.1	-6.4
6	6.0	36.0	36.0	0	0	35.9	-0.1	-0.3	36.0	0	0
7	12.0	24.7	19.9	-4.8	-19.4	23.2	-1.5	-6.1	24.5	-0.2	-0.8
Σ				+28.4	+42.1		+60.9	+63.4		+81.7	+79.3
M				+4.1	+6.0		+8.7	+9.1		+11.7	+11.3

圖-3.2.4 徳島中時間100年確率降雨強度式比較



2 中時間確率降雨強度式の考察

以上、高松、高知、松山、徳島における中時間確率降雨強度式を解析し、もっとも高い適合度をもった式形を考察した結果、その式形については、各地とも、Talbot形であることが明らかとなった。

すなわち、中時間確率降雨強度式の算定法については、その式形として、Talbot形を適用して解析すれば十分である。

つぎに、中時間帯における、中時間確率降雨強度式の算定法の優位性については、長時間確率降雨強度式の算定法のうちから、適合性のよい特性係数法と物部式⁴⁾を選び、この3つの解析法について比較、考察した。¹⁾

なお、確率年数は100年、適用時間は30分間から12時間までとし、特性係数法を用いた中時間確率降雨強度式は I_1 、長時間確率降雨強度式は I'_1 、物部式は I_2 として比較、考察し、高松、高知、松山、徳島におけるその比較表を、つぎの表-3・2・10から表-3・2・13までに示す。

表-3・2・10 高松確率降雨強度式の比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{233.0}{t+2.47}$			$I'_1 = \frac{257.6}{t+2.83}$			$I_2 = 9.6 \left(\frac{2.4}{t} \right)^{2/3}$		
No.	t(時間)	I(mm/hr)	I_1	a_1	%	I'_1	a'_1	%	I_2	a_2	%
1	0.5	97.4	78.5	-18.9	-19.4	77.4	-20.0	-20.5	126.7	+29.3	+30.0
2	1.0	67.2	67.1	-0.1	-0.1	67.3	+0.1	+0.1	80.0	+12.8	+19.0
3	2.0	47.5	52.1	+4.6	+9.7	53.3	+4.8	+10.1	50.4	+2.9	+6.1
4	3.0	45.0	42.6	-2.4	-5.3	44.2	-0.8	-1.8	38.4	-6.6	-14.7
5	6.0	27.5	27.5	0	0	29.2	+1.7	+6.2	24.2	-3.3	-12.0
6	12.0	15.7	16.1	+0.4	+2.5	17.4	+1.7	+10.8	15.3	-0.4	-2.5
Σ				+26.4	+37.0		+29.1	+49.5		+55.3	+84.3
M				+4.4	+6.2		+4.9	+8.3		+9.2	+14.1

表-3・2・11 高知確率降雨強度式の比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{2687}{t+1.15}$			$I_1' = \frac{425.0}{t+2.40}$			$I_2 = 16.1 \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$		
No	t (時間)	I (mm/hr)	I_1	a_1	%	I_1'	a_1'	%	I_2	a_2	%
1	0.5	150.4	162.8	+12.4	+8.2	146.6	-3.8	-2.5	212.5	+62.1	+41.3
2	1.0	125.1	125.0	-0.1	-0.1	125.0	-0.1	-0.1	134.1	+9.0	+7.2
3	2.0	82.5	85.3	+2.8	+3.4	96.6	+14.1	+17.1	84.5	+2.0	+2.4
4	3.0	69.9	64.7	-5.2	-7.4	78.7	+8.8	+12.6	64.4	-5.5	-7.9
5	6.0	37.6	37.6	0	0	50.6	+13.0	+48.9	40.6	-3.0	-8.0
6	12.0	27.4	20.4	-7.0	-25.5	29.5	+2.1	+7.7	25.6	-1.8	-6.6
Σ				±27.5	±44.6		±41.9	±88.9		±83.4	±73.4
M				±4.6	±7.4		±7.0	±14.8		±13.9	±12.2

表-3・2・12 松山確率降雨強度式の比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{1088}{t+0.89}$			$I_1' = \frac{183.3}{t+2.18}$			$I_2 = 7.0 \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$		
No	t (時間)	I (mm/hr)	I_1	a_1	%	I_1'	a_1'	%	I_2	a_2	%
1	0.5	75.0	78.3	+3.3	+4.4	68.4	-6.6	-8.8	92.4	+17.4	+23.2
2	1.0	57.6	57.6	0	0	57.6	0	0	58.3	+0.7	+1.2
3	2.0	37.3	37.6	+0.3	+0.8	43.9	+6.6	+18.0	36.8	-0.5	-1.3
4	3.0	30.3	28.0	-2.3	-7.6	35.4	+5.1	+16.8	28.0	-2.3	-7.6
5	4.0	22.9	22.2	-0.7	-3.1	29.7	+6.8	+29.7	23.1	+0.2	+0.9
6	6.0	15.8	15.8	0	0	22.4	+6.6	+41.8	17.6	+1.8	+11.4
7	12.0	11.0	8.4	-2.6	-23.6	12.9	+1.9	+17.3	11.1	+0.1	+1.0
Σ				±9.2	±39.5		±33.6	±132.4		±23.0	±46.6
M				±1.3	±5.6		±4.8	±18.9		±3.3	±6.7

表-3・2・13 徳島確率降雨強度式の比較

100年確率実測値			$I_1 \quad \frac{266.5}{t+1.40}$			$I_1' \quad \frac{494.5}{t+3.47}$			$I_2 \quad 18.0 \left(\frac{2.4}{t}\right)^{\frac{2}{3}}$		
No.	t(時間)	I(mm/hr)	I_1	a_1	%	I_1'	a_1'	%	I_2	a_2	%
1	0.5	121.6	140.0	+18.4	+15.1	124.0	+2.4	+2.0	237.6	+116.0	+95.4
2	1.0	110.7	111.0	+0.3	+0.3	110.6	-0.1	-0.1	149.9	+39.2	+35.4
3	2.0	74.9	78.4	+3.5	+4.7	90.4	+15.5	+20.7	94.5	+19.6	+26.2
4	3.0	60.0	60.6	+0.6	+1.0	76.4	+16.4	+27.3	72.0	+12.0	+20.0
5	4.0	48.6	49.4	+0.8	+1.6	66.2	+17.6	+36.2	59.4	+10.8	+22.2
6	6.0	36.0	36.0	0	0	52.2	+16.2	+45.0	45.4	+9.4	+26.1
7	12.0	24.7	19.9	-4.8	-19.4	32.0	+7.3	+29.6	28.6	+3.9	+15.8
Σ				+28.4	+42.1		+75.5	+160.9		+210.9	+241.1
M				+4.1	+6.0		+10.8	+23.0		+30.1	+34.4

これら解析の結果、解析値と実測値の偏差百分率の値は、中時間確率降雨強度式が、他の2式に比べて非常に小さく、高松、高知、松山、徳島において、それぞれ、6.2%、7.4%、5.6%、6.0%となり、中時間帯における、もっとも適合度の高い解析法は、中時間確率降雨強度式の算定法であることが明らかとなった。

したがって、中小河川の治水計画策定の計画降雨の算定において、もっとも高い適合度を持ち、また、実用的で、適確な確率降雨強度式の算定法としては、本研究において考究した、新しい特性係数値を用いた、この中時間確率降雨強度式の算定法であるといえる。

3 四国各地の確率降雨強度曲線

以下には、こうした適合度の高い中時間確率降雨強度式を用いて、確率降雨強度曲線を求めておく。

確率降雨強度曲線は、横軸に降雨の継続時間、縦軸に降雨強度をとり、さらに、降雨強度に、発生頻度(確率)を組合せて解析し、図示した曲線である。

この確率降雨強度曲線は、治水計画策定にあたって、その基本高水である計画高水流量を解析する場合、その計画降雨の実用的、合理的な算定に適用される、非常に重要、かつ、貴重なものである。

本研究においては、四国地方における中小河川治水計画の策定に、非常に重要、かつ、貴重となる、四国の主要都市、高松、高知、松山、徳島の確率降雨強度曲線を解析、図示しておく。

すなわち、その解析過程は、表-3・2・14 に示し、また、確率降雨強度曲線は、高松、高知、松山、徳島について、それぞれ、図-3・2・5 から図-3・2・8 までに図示した。

表-3・2・14 四国各地の中時間確率降雨強度式の解析

単位 mm/hr									
確率年	I^1	I^6	$\beta^1 \cdot \frac{I^1}{I^6}$	$\beta^1 - 1$	$6 - 1 \times \beta^1$	$b \cdot \frac{6 - 1 \times \beta^1}{\beta^1 - 1}$	$a' - 6 + b$	$\beta^1 \cdot \frac{a'}{t + b}$	$I^1 \cdot \beta^1 \cdot I^6$
(高松)									
200	73.6	31.3	2.35	1.35	3.65	2.704	8.704	$\frac{8.704}{t+2.70}$	$\frac{2.724}{t+2.70}$
100	67.2	27.5	2.44	1.44	3.56	2.472	8.472	$\frac{8.472}{t+2.47}$	$\frac{2.330}{t+2.47}$
80	65.2	26.4	2.47	1.47	3.53	2.401	8.401	$\frac{8.401}{t+2.40}$	$\frac{2.220}{t+2.40}$
50	60.9	24.0	2.54	1.54	3.46	2.247	8.247	$\frac{8.247}{t+2.25}$	$\frac{1.979}{t+2.25}$
30	56.2	21.4	2.63	1.63	3.37	2.067	8.067	$\frac{8.067}{t+2.07}$	$\frac{1.726}{t+2.07}$
10	45.8	16.3	2.81	1.81	3.19	1.762	7.762	$\frac{7.762}{t+1.76}$	$\frac{1.265}{t+1.76}$
(高知)									
200	137.7	39.9	3.45	2.45	2.55	1.041	7.041	$\frac{7.041}{t+1.04}$	$\frac{2.809}{t+1.04}$
100	125.1	37.6	3.33	2.33	2.67	1.146	7.146	$\frac{7.146}{t+1.15}$	$\frac{2.687}{t+1.15}$
80	121.1	36.8	3.29	2.29	2.71	1.183	7.183	$\frac{7.183}{t+1.18}$	$\frac{2.643}{t+1.18}$
50	112.8	35.2	3.20	2.20	2.80	1.273	7.273	$\frac{7.273}{t+1.27}$	$\frac{2.560}{t+1.27}$
30	103.9	33.3	3.12	2.12	2.88	1.358	7.358	$\frac{7.358}{t+1.36}$	$\frac{2.450}{t+1.36}$
10	84.9	29.0	2.93	1.93	3.07	1.591	7.591	$\frac{7.591}{t+1.59}$	$\frac{2.201}{t+1.59}$

(松山)									
200	6.35	16.5	3.85	2.85	2.15	0.754	6.754	$\frac{6.754}{t+0.75}$	$\frac{111.4}{t+0.75}$
100	57.6	15.8	3.65	2.65	2.35	0.887	6.887	$\frac{6.887}{t+0.89}$	$\frac{108.8}{t+0.89}$
80	55.7	15.6	3.57	2.57	2.43	0.946	6.946	$\frac{6.946}{t+0.95}$	$\frac{108.4}{t+0.95}$
50	51.9	15.0	3.46	2.46	2.54	1.033	7.033	$\frac{7.033}{t+1.03}$	$\frac{105.5}{t+1.03}$
30	47.9	14.4	3.33	2.33	2.67	1.146	7.146	$\frac{7.146}{t+1.15}$	$\frac{102.9}{t+1.15}$
10	39.7	12.9	3.08	2.08	2.92	1.404	7.404	$\frac{7.404}{t+1.40}$	$\frac{95.5}{t+1.40}$
(徳島)									
200	121.5	38.6	3.15	2.15	2.85	1.326	7.326	$\frac{7.326}{t+1.33}$	$\frac{282.8}{t+1.33}$
100	110.7	36.0	3.08	2.08	2.92	1.404	7.404	$\frac{7.404}{t+1.40}$	$\frac{266.5}{t+1.40}$
80	107.3	35.1	3.06	2.06	2.94	1.427	7.427	$\frac{7.427}{t+1.43}$	$\frac{260.7}{t+1.43}$
50	100.0	33.2	3.01	2.01	2.99	1.488	7.488	$\frac{7.488}{t+1.49}$	$\frac{248.6}{t+1.49}$
30	92.1	31.2	2.95	1.95	3.05	1.564	7.564	$\frac{7.564}{t+1.56}$	$\frac{236.0}{t+1.56}$
10	74.8	26.5	2.82	1.82	3.18	1.747	7.747	$\frac{7.747}{t+1.75}$	$\frac{205.3}{t+1.75}$

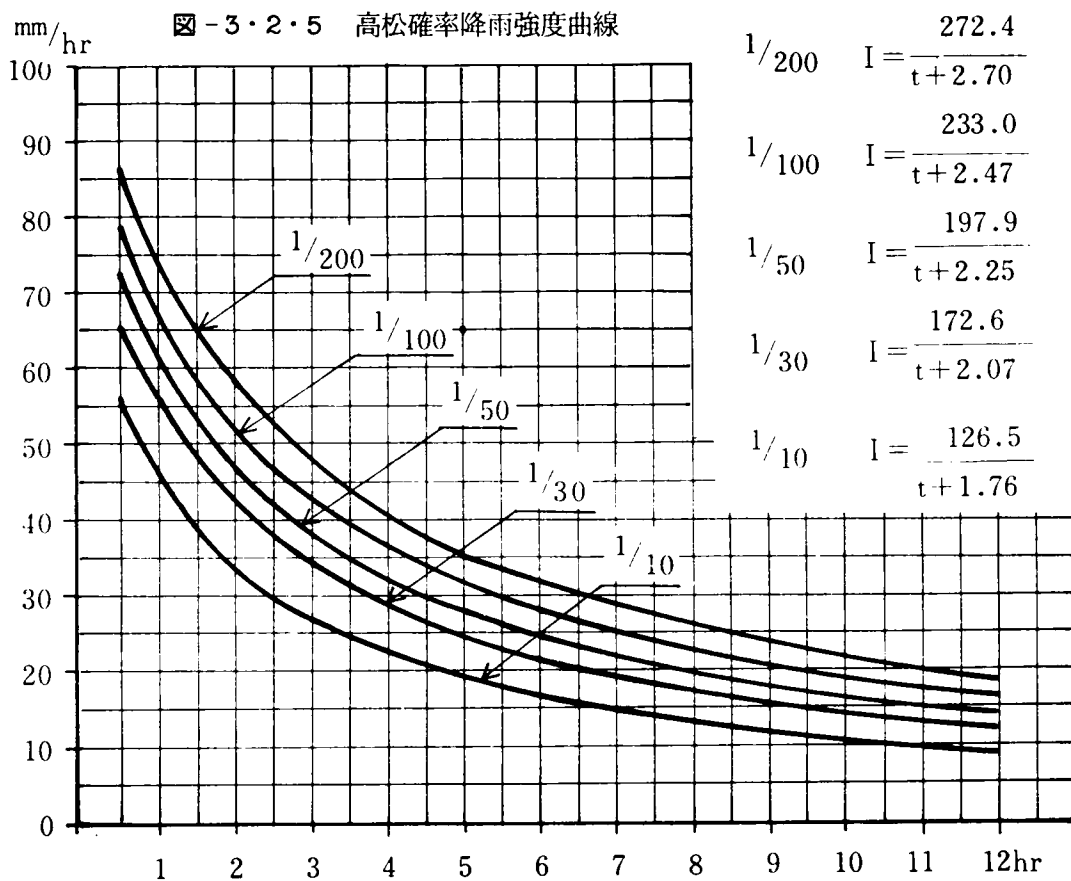


圖 - 3 · 2 · 6 高知確率降雨強度曲線

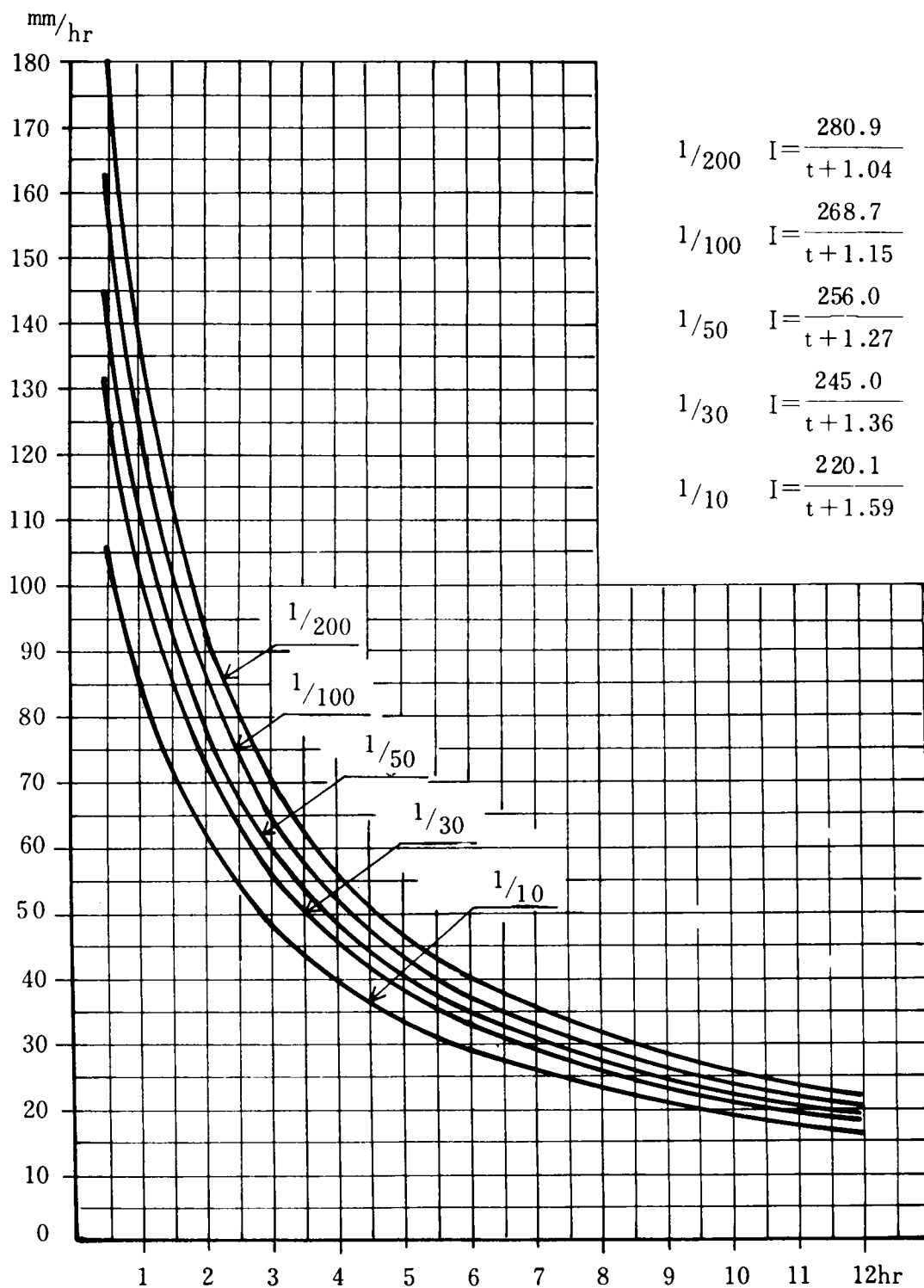


圖-3·2·7 松山確率降雨強度曲線

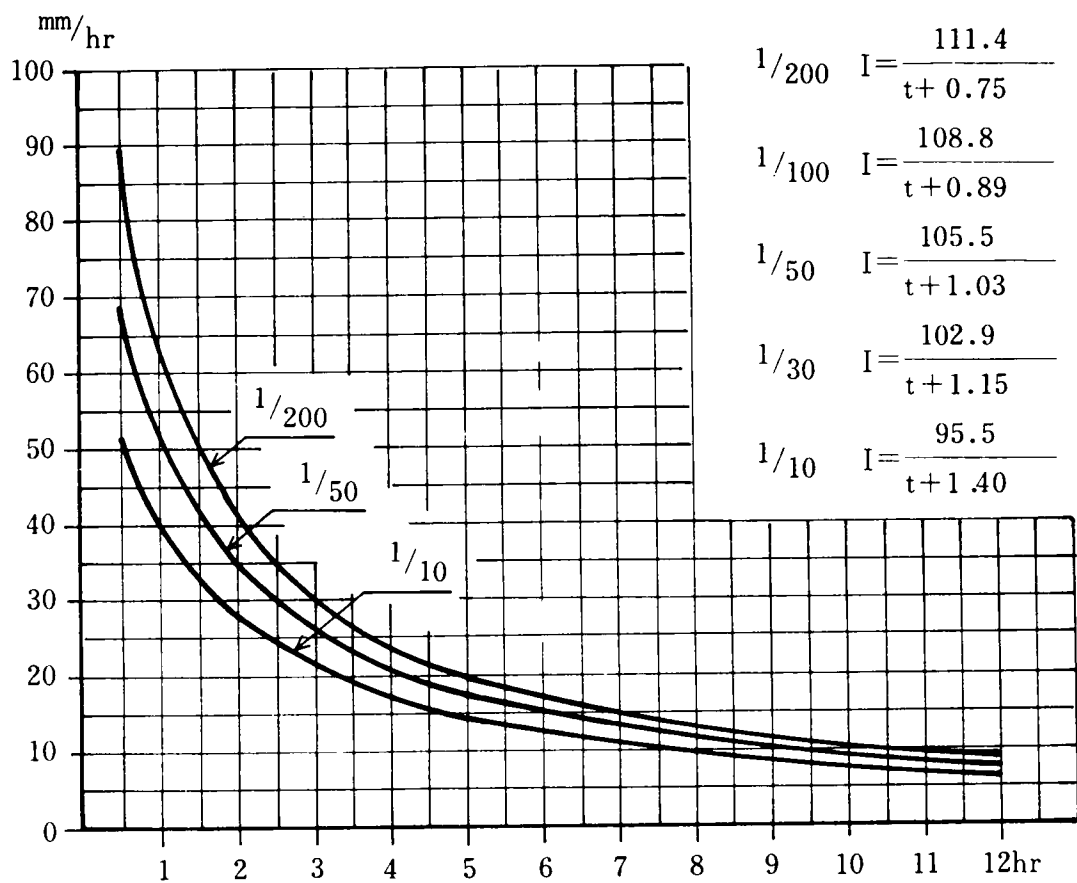
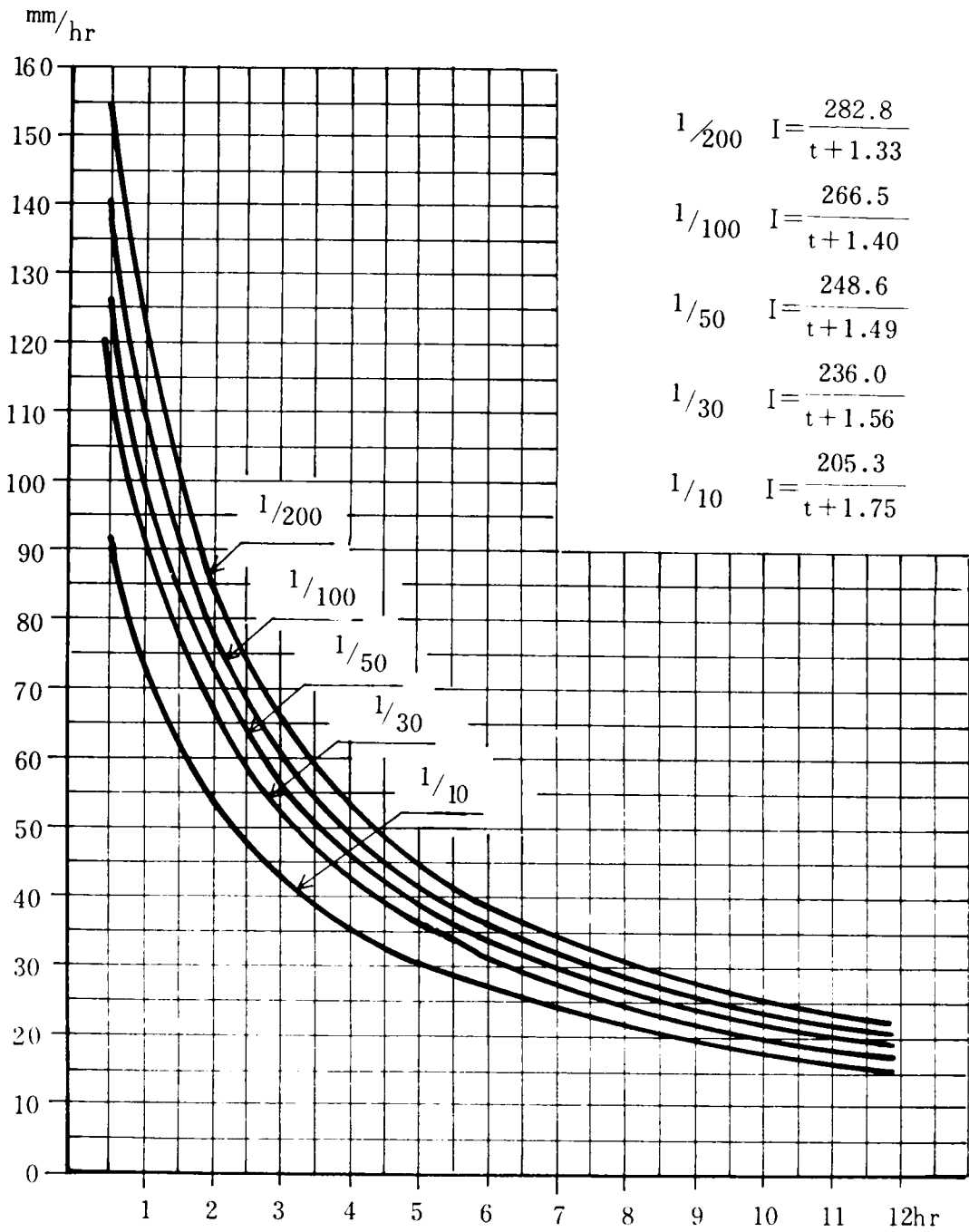


圖-3.2.8 德島確率降雨強度曲線



第3節 中時間確率ハイエトグラフの算定法

前章までは、治水計画の基本指標である基本高水のなかでも、計画高水流量，すなわち，ピーク流量の算定に必要な確率降雨強度式の合理的な算定法を展開，考察したものであったが，本節では，さらに，基本高水，いわゆる計画ハイドログラフ，そのものの算定に不可欠な，確率ハイエトグラフの合理的な算定法について論述する。

繰返すように，治水計画の策定にあたっては，この基本高水として，洪水のピーク流量を算定すると同時に，計画ハイドログラフも設定しておかなければならない。

この計画ハイドログラフの解析については，近年，水文，水理学の研究，発展にともなって，各種の流出解析法が研究され，現在，広く用いられているものに，単位図法，流出函数法，貯留函数法，また，特性曲線法などがあり，この確率ハイエトグラフは，この新しい流出解析法に対応する計画降雨として，必要となってきた。

本節においては，中小河川の治水計画策定に用いる確率ハイエトグラフの算定法について，第1節と同じく，中時間降雨における確率ハイエトグラフの算定法を考究することにした。

すなわち，中時間確率ハイエトグラフの算定については，石黒¹²⁾が提案しているごとく，確率降雨強度曲線と関連づけて解析することにした。

いま，降雨の始まりからの降雨継続時間 t と 降雨強度 i の関係を， $i = f(t)$ の形で表わすと，

$$i = f(t) \text{ ----- (3.3.1)}$$

つぎに， t 時間の総降雨量を R とすると，

$$R = \int_0^t i \, dt \text{ ----- (3.3.2)}$$

となる。

なお，降雨強度式で表わされる，継続時間 t とその間の平均降雨強度 I との関係は，各継続時間について，多くの連続降雨から選び出された，降雨強度を組み合わせたものと考えられるので，必ずしも，一連の降雨のなかに，現われる t と I との関係とは限らない。しかし，降雨強度式が，たとえば，平均的な降雨条件で現われるであろう連続降雨

の t と I の関係を与えるものであると考えると、このような場合に対応するハイトグラフは、つぎの関係から解析することができる。

すなわち、中時間降雨強度式の形は、Talbot 形を適用すればよいので、 t 時間降雨強度 I は、つぎの式で表わされる。

$$I = \frac{a}{t+b} \quad \text{-----} (3.3.3)$$

また、 t 時間の総降雨量を R とすると、

$$R = \left(\frac{a}{t+b} \right) \cdot t \quad \text{-----} (3.3.4)$$

ここで、式(3.3.2)、式(3.3.4) を微分すると、

$$\frac{dR}{dt} = i \quad \text{-----} (3.3.5)$$

$$\frac{dR}{dt} = \frac{a(t+b) - at}{(t+b)^2} = \frac{ab}{(t+b)^2} \quad \text{-----} (3.3.6)$$

したがって、式(3.3.5)、式(3.3.6) より、つぎの式をうる。

$$i = \frac{ab}{(t+b)^2} \quad \text{-----} (3.3.7)$$

この式は、降雨ピークが、最初にある場合のハイトグラフ式であるので、いま、全降雨継続時間を t とし、降り始めの時刻を 0、終りを 1.0、ピークを原点として、ピーク前の t を t_b 、ピーク後の t を t_a とすると、

$$\left. \begin{array}{l} t_b = r \cdot t \\ t_a = (1-r) \cdot t \end{array} \right\} \quad \text{-----} (3.3.8)$$

$$\text{ここに、} r = \frac{t_b}{t} \quad \text{-----} (3.3.9)$$

すなわち、 r は、一連降雨中のピーク部発生位置を示すことになる。

したがって、ピーク前のハイトグラフ式を i_b 、ピーク後のそれを i_a とすると、式(3.3.7) は、つぎの式で表わされる。

$$i_b = \frac{a \cdot b}{\left\{ \left(\frac{t_b}{r} \right) + b \right\}^2} \text{-----} (3.3.10)$$

$$i_a = \frac{a \cdot b}{\left\{ \left(\frac{t_a}{1-r} \right) + b \right\}^2} \text{-----} (3.3.11)$$

つぎに、式(3.3.10)、式(3.3.11)に含まれている地方定数 a 、 b の値は、前章の式(3.1.13)を用いて算出し、また、ピーク発生位置を示す r の値は、その地点の実績降雨を調査、解析して算定する。

さらに、ハイレートグラフの任意時間中の降雨量算定も、つぎの解析法によって、算出することができる。

まず、式(3.3.10)の分母を、 $\frac{t_b}{r} + b = T_b$ とおくと、 $dt_b = r \cdot dT_b$ となり、つぎの式に変形し、

$$i_b = \frac{a \cdot b}{T_b^2}$$

これを、 $t_{b2} > t_b > t_{b1}$ で積分すると、

$$\begin{aligned} i_{t_{b1}}^{t_{b2}} &= \int_{t_{b1}}^{t_{b2}} i_b \cdot dt_b = \int_{t'_{b1}}^{t'_{b2}} \left\{ \frac{a \cdot b}{(T_b)^2} \right\} r \cdot dT_b \\ &= \left[- \frac{a \cdot b \cdot r}{T_b} \right]_{t'_{b1}}^{t'_{b2}} \end{aligned}$$

ただし、 $t'_{b2} = \left(\frac{t_{b2}}{r} + b \right)$ 、 $t'_{b1} = \left(\frac{t_{b1}}{r} + b \right)$

したがって、

$$\begin{aligned} i_{t_{b1}}^{t_{b2}} &= \left[\frac{-a b r}{\left(\frac{t_b}{r} \right) + b} \right]_{t_{b1}}^{t_{b2}} = a b r \left\{ \frac{1}{\frac{t_{b1}}{r} + b} - \frac{1}{\frac{t_{b2}}{r} + b} \right\} \\ &= a b r^2 \left(\frac{1}{t_{b1} + b \cdot r} - \frac{1}{t_{b2} + b \cdot r} \right) \text{-----} (3.3.12) \end{aligned}$$

また、式(3.3.11)も同様にして、

$$\begin{aligned} i_{t_{a1}}^{t_{a2}} &= a b (1-r)^2 \left\{ \frac{1}{t_{a1} + b(1-r)} - \frac{1}{t_{a2} + b(1-r)} \right\} \\ &\text{-----} (3.3.13) \end{aligned}$$

すなわち、ハイトグラフの任意時間中の降雨量は、上式を用いて容易に算出することができる。

第4節においては、高松、高知、松山、徳島における、中時間降雨の確率ハイトグラフを、本節で提案した算定法を用いて解析し、今後、四国地方の中小河川の治水計画策定に活用できるよう図った。

第4節 四国各地の中時間確率ハイトグラフの解析と考察

1 中時間確率ハイトグラフの解析

高松の中時間確率ハイトグラフの解析については、確率降雨強度の資料として、表-2・3・5の1時間と6時間の資料を、算定法としては、前節において提案した、新しい算定法を適用することにした。

表-3・4・1は、その解析過程を示したものであるが、この解析過程において、もっとも重要な要素となるものは、降雨のピークの発生位置である。この降雨のピークの発生位置については、高松における、近年の豪雨、昭47. 9. 16, 昭40. 9. 10, および、昭25. 8. 6の降雨について調査、解析し、その値として、0.75, 0.83, 0.73を得たので、本解析においては、0.8を採用した。

図-3・4・1, 3・4・2, 3・4・3は、この値を用いて解析した高松の200年, 100年, 50年の確率ハイトグラフである。

表-3・4・1 高松確率ハイトグラフ式の解析

単位 mm/hr

確率年	I^1	I^6	$\frac{I^1}{I^6}$	$\frac{I^1}{I^6}-1$	$6-\frac{I^1}{I^6}$	$b \frac{6-\frac{I^1}{I^6}}{\frac{I^1}{I^6}-1}$	$a' b+6$	$a' a I^6$	r	i_b	i_a
200	73.6	31.3	2.35	1.35	3.65	2.704	8.704	2.724	0.8	$\frac{73.6}{\{\frac{t_b}{0.8}+2.7\}^2}$	$\frac{73.6}{\{\frac{t_a}{0.2}+2.7\}^2}$
100	67.2	27.5	2.44	1.44	3.56	2.472	8.472	2.330	0.8	$\frac{57.6}{\{\frac{t_b}{0.8}+2.5\}^2}$	$\frac{57.6}{\{\frac{t_a}{0.2}+2.5\}^2}$
80	65.2	26.4	2.47	1.47	3.53	2.401	8.401	2.220	0.8	$\frac{53.3}{\{\frac{t_b}{0.8}+2.4\}^2}$	$\frac{53.3}{\{\frac{t_a}{0.2}+2.4\}^2}$
50	60.9	24.0	2.54	1.54	3.46	2.247	8.247	1.979	0.8	$\frac{44.7}{\{\frac{t_b}{0.8}+2.2\}^2}$	$\frac{44.7}{\{\frac{t_a}{0.2}+2.2\}^2}$
30	56.2	21.4	2.63	1.63	3.37	2.067	8.067	1.726	0.8	$\frac{35.6}{\{\frac{t_b}{0.8}+2.1\}^2}$	$\frac{35.6}{\{\frac{t_a}{0.2}+2.1\}^2}$

図-3.4.1 高松200年確率ハイエトグラフ

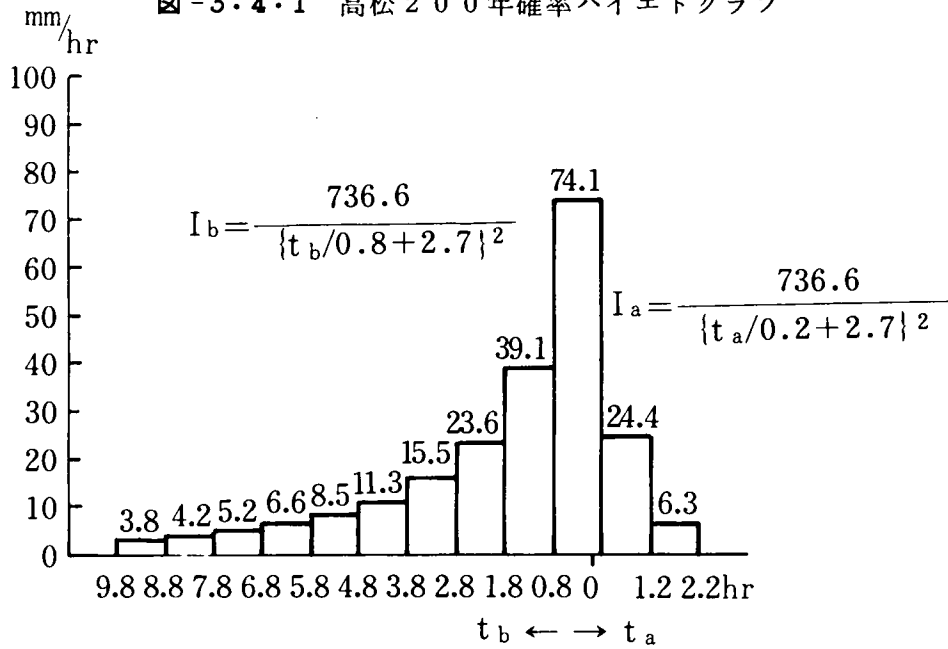
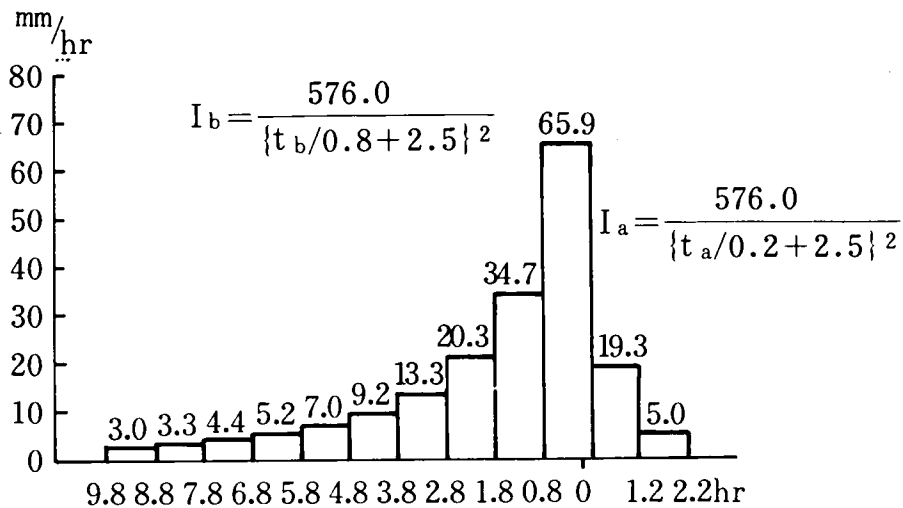
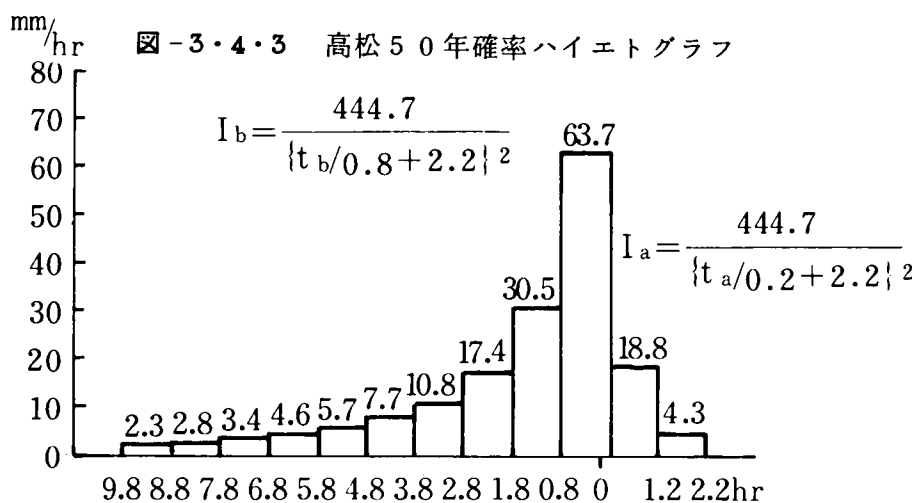


図-3.4.2 高松100年確率ハイエトグラフ





高知についても同様に、近年の豪雨として、昭47. 9. 15, 昭29. 6. 29, および、昭20. 8. 25について調査し、降雨のピーク発生位置として、0.79, 0.58, 0.91を得たので、本解析においては、0.8を採用した。解析をした200年, 100年, 50年確率ハイトグラフについては、それぞれ、つぎの図-3・4・4, 3・4・5, 3・4・6に示した。

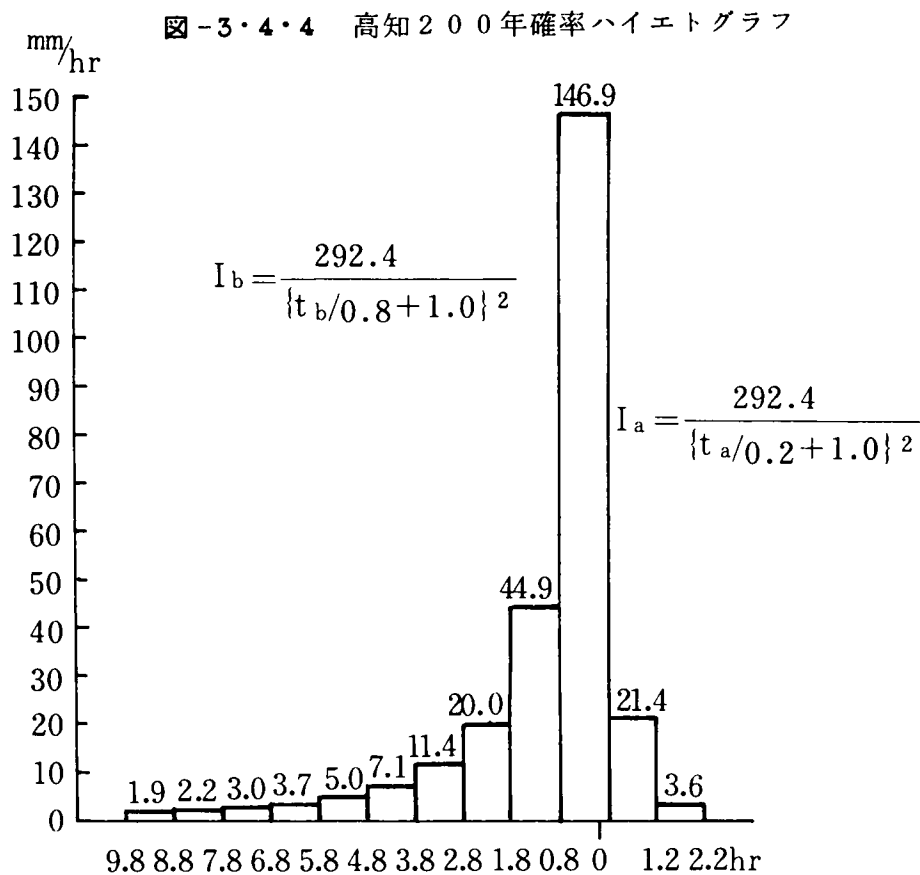


図-3・4・5 高知100年確率ハイトグラフ

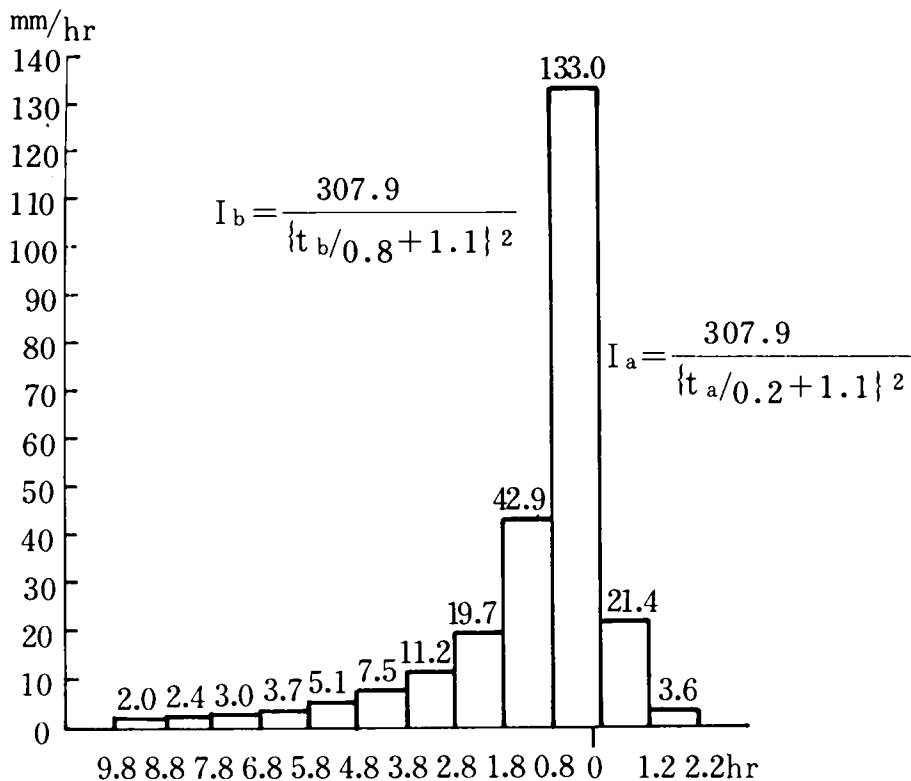
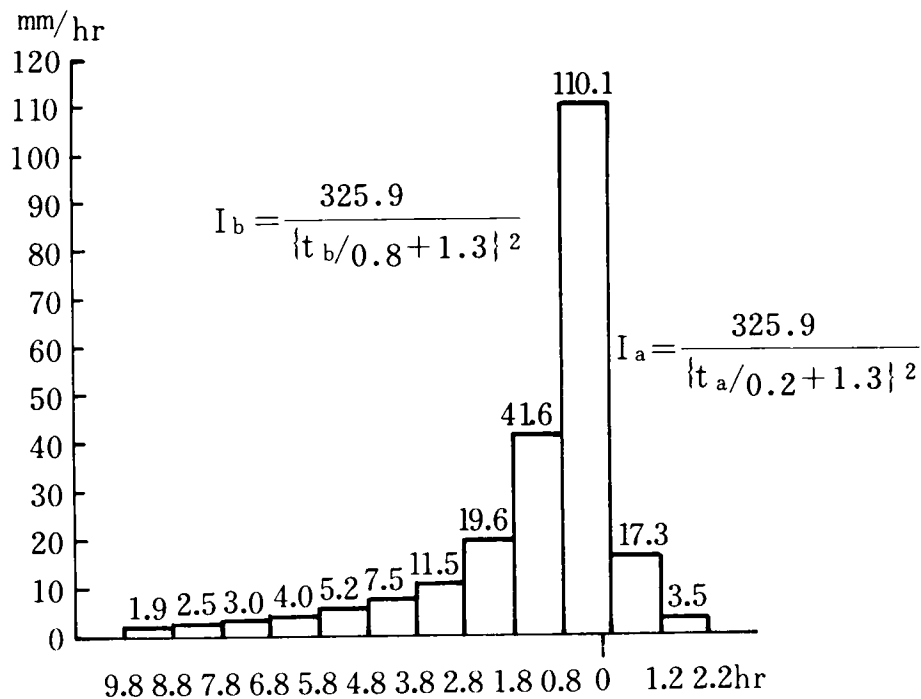


図-3・4・6 高知50年確率ハイトグラフ



また、松山については、近年の豪雨として、昭40. 7. 18, 昭36. 10. 26, および、昭29. 7. 4 について調査し、降雨のピーク発生位置として、それぞれ、0.83, 0.92, 0.83を得たが、本解析においては、0.8を採用した。

図-3.4.7, 3.4.8, 3.4.9 は、同様の解析結果である。

図-3.4.7 松山200年確率ハイトグラフ

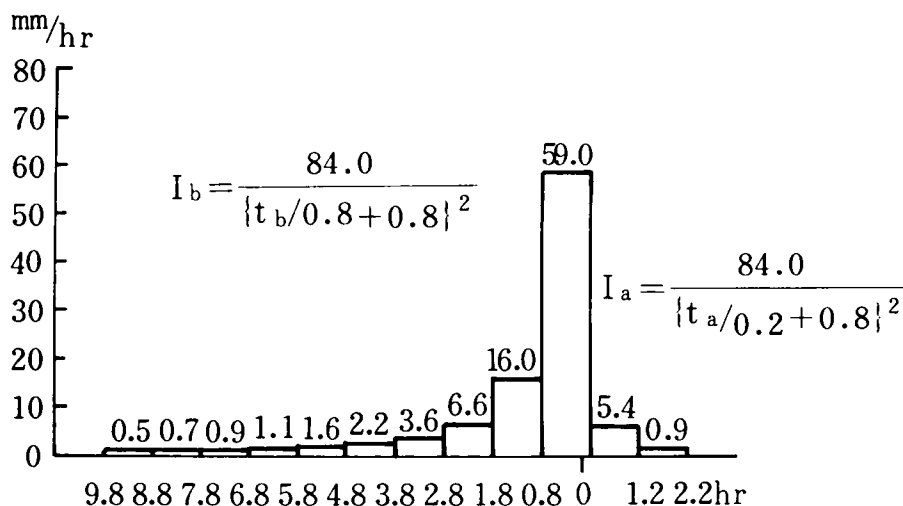


図-3.4.8 松山100年確率ハイトグラフ

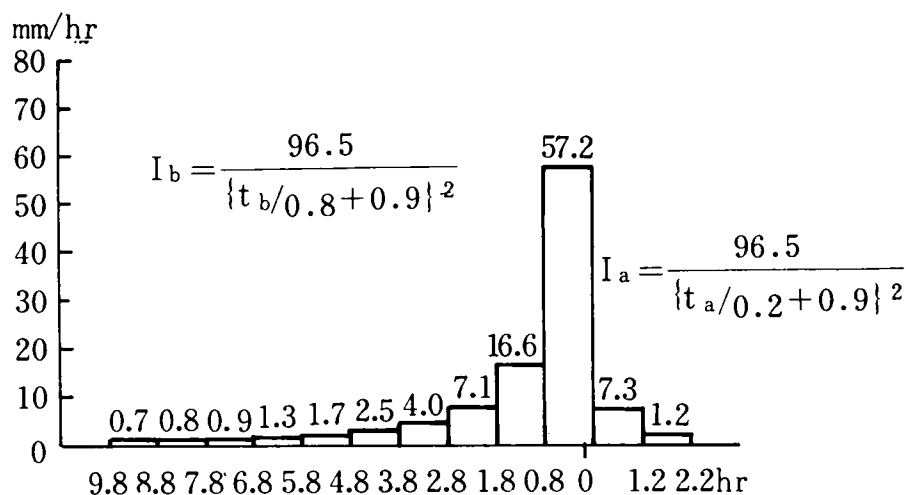
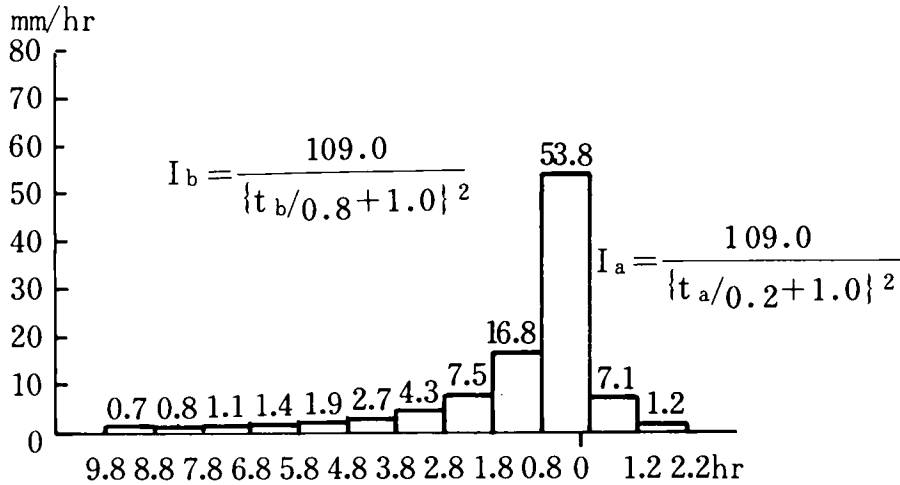


図-3.4.9 松山50年確率ハイトグラフ



つぎに、徳島については、近年の豪雨として、昭49. 7. 6, 昭47. 9. 9, および昭25. 9. 3を選んで調査し、その降雨のピーク発生位置として、それぞれ、0.73, 0.75, 0.82 を得たので、本解析においては、0.8を採用した。

解析結果は、図-3.4.10, 3.4.11, 3.4.12 に図示されている。

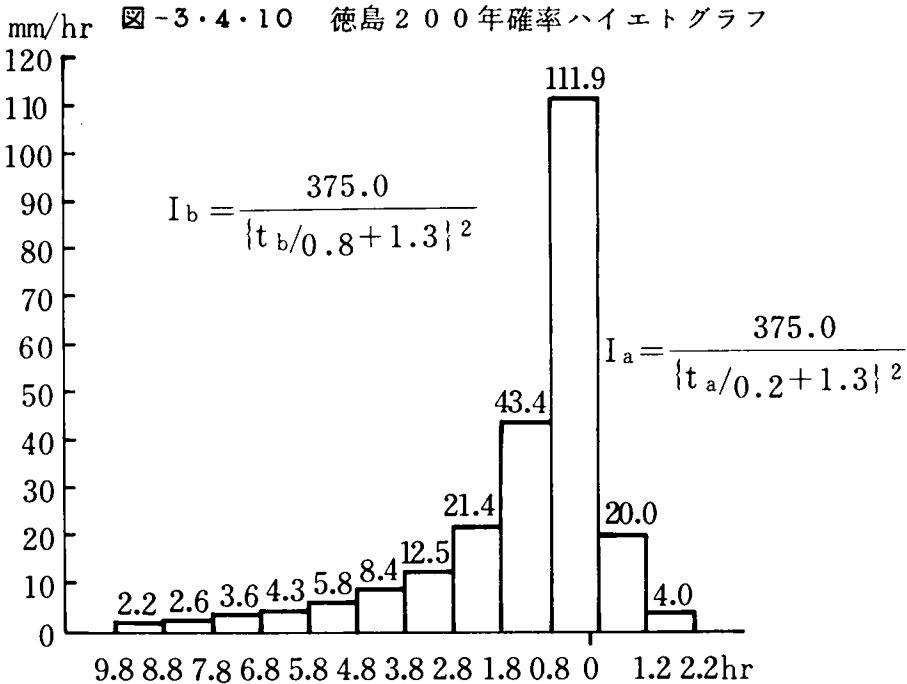


図-3・4・11 徳島100年確率ハイトグラフ

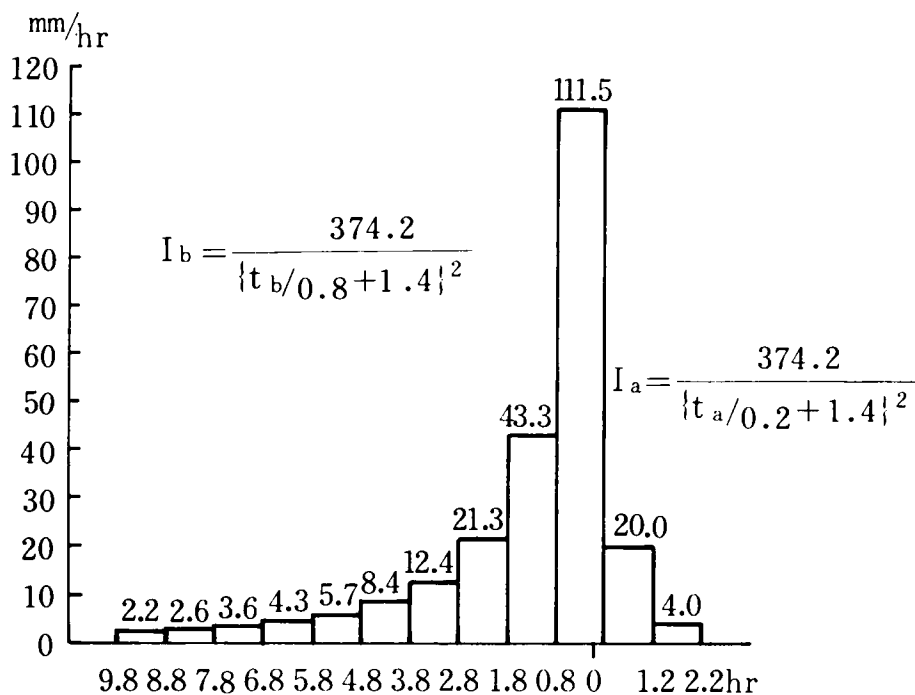
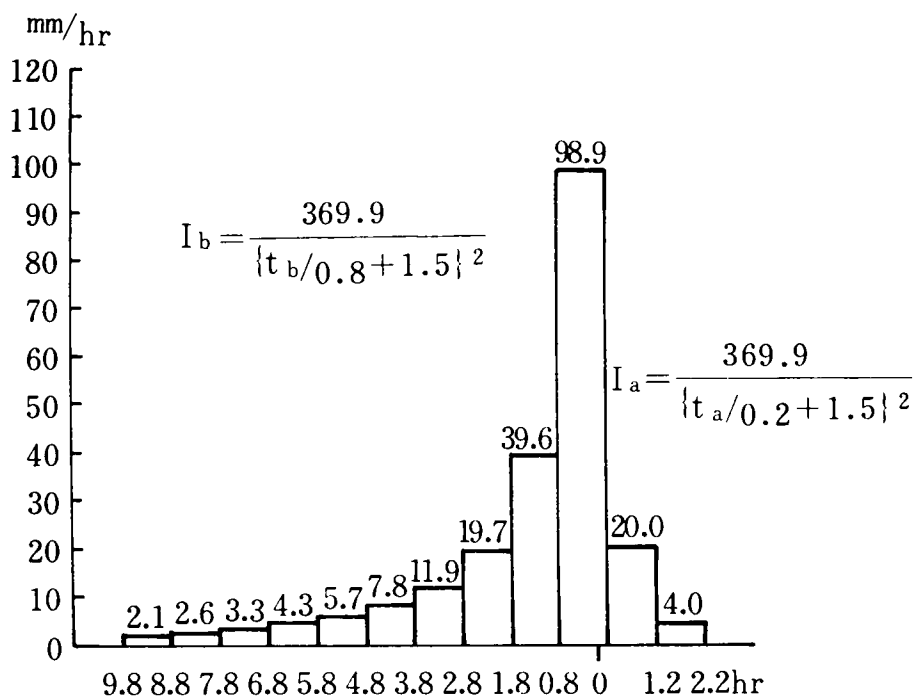


図-3・4・12 徳島50年確率ハイトグラフ



2 中時間確率ハイエトグラフの考察

以上、高松、高知、松山、徳島における、中時間降雨の200年、100年、50年確率ハイエトグラフを解析、図示したが、その適合性については、前章において考究、解析、図示した各地の確率降雨強度曲線と対比しても、また、任意確率年、任意降雨継続時間に対して比較、考察した結果においても、数値的に一致しており、さらに、それぞれの地点における、過去の大降雨の降雨状況と比較、考察しても、非常に適合性のよいことが判明した。

したがって、この確率ハイエトグラフは、今後、四国地方の中小河川治水計画策定に、重要、かつ、貴重なものとなり、また、このグラフを計画降雨として適用すると、計画ハイドログラフは、容易に、しかも、合理的に解析することができる。

第5節 降雨情報の任意地点への変換解析と考察

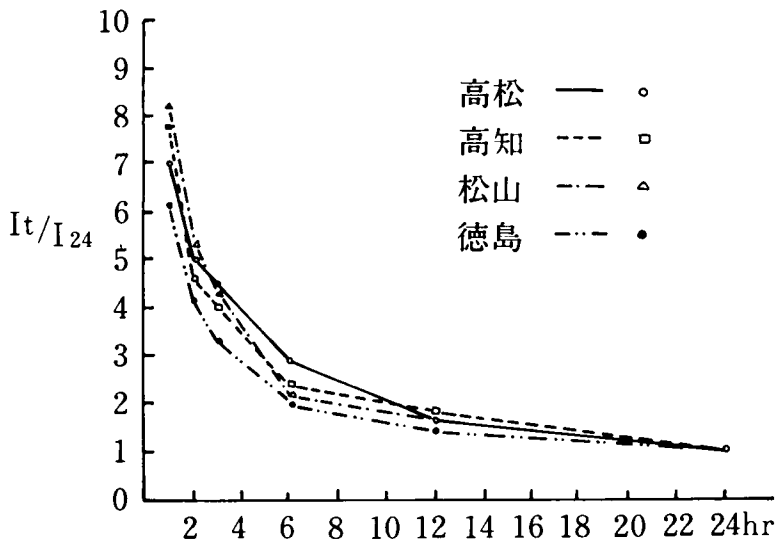
いままでの研究においては、中小河川の治水計画策定に、重要、かつ、貴重な計画降雨の算定法について研究し、また、四国地方の主要都市、高松、高知、松山、徳島における計画降雨については、この算定法を適用、解析、考察してきた。

しかしながら、現実には、中小河川の治水計画を策定する地域は、これら地方都市の周辺地域のみでなく、また、都市周辺の河川にしても、その流域は、その都市からかなり離れた地域までを含んでいる。また、これらの地域には、降雨の資料が皆無の状態のところが多く、この場合は、何らかの形で得られる降雨情報を、その地域に変換する必要が生じている。

¹³⁾ この変換については、降雨の地域代表性、雨域の大きさなど、降雨が気象要素、地形要素などと、複雑に関係しており、定量的評価は、きわめて、困難であるが、多くの既設観測所の降雨データに基づき、地域相関分析を行ない、相関の程度によって、代表性を論ずることは、降雨の空間的代表性を量的に把握する上に、役立つものと考えられる。

いま、四国地方の主要地点の各時間降雨強度 I_t と24時間降雨強度 I_{24} の関係について解析し、その結果の一例として、図-3・5・1に、100年確率のものを図示する。

図-3-5-1 四国主要地点の100年確率降雨強度 I_t/I_{24}



この図からわかるごとく、 I_t/I_{24} の曲線については、その地方の降雨特性を表わしているが、その変化量は、全国的に、降雨量の多い高知、徳島と少ない高松、松山においても、同じような傾向があることが明らかとなった。

すなわち、降雨情報の任意地点への変換については、降雨特性の類似の地点は、各時間降雨強度とその24時間降雨強度の関係が、ほとんど、異ならぬと考えられるので、降雨特性の類似の地点で、時間雨量の資料がなく、日雨量の資料のみが整備されている地点の変換は、その基幹観測所の確率降雨強度式に、その日雨量比を適用し、解析することができることを見出した。

そこで、この方法を四国四県の降雨特性に適用することを試みた。まず、香川県については、その基幹観測所となる高松と県内主要地点における確率日雨量比を解析する必要がある¹⁴⁾ので、各地点での昭和元年から昭和49年まで、49ヶ年の毎年最大日雨量を調査、解析し、つぎの表-3・5・1を得た。

表-3.5.1 香川県主要雨量観測所の確率日雨量および
高松の雨量に対する比

		単位 mm/day				
観測所	確率年	2000年	1000年	80年	50年	30年
高 松		206.3	191.7	186.9	176.6	165.2
多 度 津		194.1	175.2	169.2	156.9	143.7
		0.94	0.92	0.91	0.89	0.87
塩 江		272.0	249.9	242.8	227.7	211.2
		1.32	1.30	1.30	1.29	1.28
滝 宮		234.6	212.1	204.9	189.9	173.8
		1.14	1.11	1.10	1.08	1.05
土 庄		178.5	165.3	161.1	151.9	141.8
		0.87	0.86	0.86	0.86	0.86

同じく、高知県については、昭和16年から昭和49年まで、34ヶ年の毎年最大日¹⁵⁾雨量を調査、解析し、つぎの表-3.5.2に示すことにした。

表-3.5.2 高知県主要雨量観測所の確率日雨量および
高知の雨量に対する比

		単位 mm/day				
観測所	確率年	2000年	1000年	80年	50年	30年
高 知		391.6	364.8	356.0	337.4	316.8
宿 毛		371.8	339.1	328.6	306.5	282.5
		0.95	0.93	0.92	0.91	0.89
窪 川		481.2	446.0	434.6	410.4	383.9
		1.23	1.22	1.22	1.22	1.21
本 山		744.3	654.1	626.2	568.9	509.2
		1.90	1.79	1.76	1.69	1.61
室 戸		470.9	427.2	413.3	384.1	352.6
		1.20	1.17	1.16	1.14	1.11

また、愛媛県については、昭和20年から昭和49年まで、30ヶ年の毎年最大日雨¹⁶⁾量を調査、解析し、つぎの表-3・5・3を得た。

表-3・5・3 愛媛県主要雨量観測所の確率日雨量および
松山の雨量に対する比

単位 mm/day

観測所 \ 確率年	200年	100年	80年	50年	30年
松 山	188.5	175.7	171.6	162.7	152.9
長 浜	403.4	344.1	326.1	290.0	253.4
	2.14	1.96	1.90	1.78	1.66
宇 和 島	397.2	355.5	342.4	315.1	286.0
	2.11	2.02	2.00	1.94	1.87
久 万	345.1	319.1	310.7	292.8	273.2
	1.83	1.82	1.81	1.80	1.79
新 居 浜	314.9	286.4	277.3	258.1	237.3
	1.67	1.63	1.62	1.59	1.55

つぎに、徳島県については、同じく昭和20年から昭和49年まで、30ヶ年の毎年最大日雨¹⁷⁾量を調査、解析し、その結果を、表-3・5・4に示すことにした。

表-3・5・4 徳島県主要雨量観測所の確率日雨量および
徳島の雨量に対する比

単位 mm/day

観測所 \ 確率年	200年	100年	80年	50年	30年
徳 島	406.7	371.5	360.2	336.3	310.4
日 和 佐	492.3	436.6	419.4	384.0	347.0
	1.21	1.18	1.16	1.14	1.12
鳴 門	438.6	387.8	372.0	339.4	305.1
	1.08	1.04	1.03	1.01	0.98
池 田	261.1	242.5	236.4	223.2	208.5
	0.64	0.65	0.66	0.66	0.67

さて、適用結果の一例として、降雨特性が類似と考えられる、高松と多度津に、この変換方法を適用し、100年確率降雨強度について解析、考察したものを、つぎの表-3.5.5に示す。

表-3.5.5 多度津100年確率降雨強度の比較 単位 mm/hr

降雨継続時間	高松降雨強度式の解析値	確率日雨量比	多度津降雨強度	多度津降雨強度式の解析値	偏差	偏差百分率
0.5	78.5	0.92	72.2	71.0	+1.2	+1.7
1.0	67.1	〃	61.7	60.2	+1.5	+2.5
2.0	52.1	〃	47.9	46.3	+1.6	+3.5
3.0	42.6	〃	39.2	37.6	+1.6	+4.3
4.0	36.0	〃	33.1	31.6	+1.5	+4.7
5.0	31.2	〃	28.7	27.3	+1.4	+5.1
6.0	27.5	〃	25.3	24.0	+1.3	+5.4
8.0	22.2	〃	20.4	19.3	+1.1	+5.7
10.0	18.7	〃	17.2	16.2	+1.0	+6.2
12.0	16.1	〃	14.8	13.9	+0.9	+6.5
Σ						+45.6
M						+4.6

この解析結果をみれば、多度津の確率降雨強度は、基幹観測所高松の確率降雨強度式の解析値に両地点の日雨量比を用いて解析することで、十分であることがわかる。このことは、多度津独自の確率降雨強度式の解析値と比較しても、この偏差百分率が4.6%となり、非常に、適合性のよいことを見出した。なお、高松と塩江についても、実測値を用い、その相関性を解析、考察し、類似の有効な結果を得た。

すなわち、降雨情報の任意地点への変換については、その地域代表性、雨域の大きさなどが、気象、および、地形要素などと複雑な関係があるが、降雨特性の類似の地点においては、確率日雨量比を適用し、解析しても、十分な精度が得られることが判明した。

第 6 節 結 語

第 3 章においては、中小河川の治水計画に適用する計画降雨の算定法は、その河川の規模に適合し、また、実測値との適合度の高いものでなければならない。したがって、降雨継続時間が 30 分間から 12 時間までの時間帯の降雨を対象とし、これを、新しく「中時間降雨」と名づけて、この時間帯に、もっとも高い適合度をもった、中時間確率降雨強度式の算定法について、新しく考究、論述した。そして、この算定法を四国各地に適用、考察した結果、もっとも、適合度のよい式形は、降雨量の多少の地域にかかわらず、Talbot 形となることを明らかにした。また、中時間確率ハイエトグラフの算定法についても、同じ考え方のもと、新しく考究し、論述した。そして、この新しい算定法を四国各地に適用し、その治水計画策定に、非常に貴重となる確率降雨強度曲線と確率ハイエトグラフを作成した。つぎに、降雨情報の任意地点への変換解析については、降雨特性が類似の地点においては、確率日雨量比を用いて解析して、よき精度が得られることを明らかにした。

すなわち、第 1 節においては、中時間降雨について、その必要性を論じ、つぎに、新しく、特性係数法を修正した中時間確率降雨強度式の算定法について考究、論述した。

第 2 節においては、この新しい算定法を、四国各地に適用し、その算定法について、もっとも適合度の高い式形を考察した。その結果、中時間確率降雨強度式形については、降雨量の多少の地域にかかわらず、Talbot 形が、もっとも適合度の高い式となることを明らかにした。すなわち、中時間確率降雨強度式の算定法には、その式形は、Talbot 形を適用して解析すれば十分であることを究明した。さらに、新しく考究した中時間確率降雨強度式の算定法の優位性については、長時間確率降雨強度式の算定法のうちから、比較的適合性のよい、長時間降雨の特性係数法と物部式を選び、この 3 つの解析法について比較、考察した結果、もっとも高い適合度をもち、また、実用的で、適確な確率降雨強度式の算定法は、本研究において考究した、新しい特性係数値を用いた算定法であることを明らかにした。

したがって、四国各地の確率降雨強度曲線については、上述の算定法を適用、作成し、四国地方の中小河川治水計画の策定に、有効に活用できるよう図った。

第 3 節においては、同じく、中時間確率ハイエトグラフの算定法について考究、論述

した。

第4節においては、この新しい算定法を、四国各地に適用し、高松、高知、松山、徳島における、200、100、50年確率ハイエトグラフを解析、作成し、四国地方の中小河川治水計画の策定に、有効に活用できるよう図った。

第5節においては、降雨情報の任意地点への変換解析について研究、論述し、降雨特性の類似の地点への変換解析は、その確率日雨量比を用いて解析すれば、よき精度が得られることを明らかにした。よって、四国の各県ごとに、その基幹観測所とその県内主要地点の確率日雨量比を解析し、その変換解析に役立させるよう図った。

参 考 文 献

- (1) 石黒政儀：特性係数法による確率降雨強度式の算定法について，土木学会論文集，第74号，1961年，PP. 19～26
- (2) 石黒政儀：下水道計画における降雨強度算定の水文統計学的研究，京大学位論文，1961年
- (3) 久野重一郎：降雨の新法則について，土木学会誌，第13巻，第2号，1927年
- (4) 岩井重久，石黒政儀：応用水文統計学，森北出版，1972年，PP. 148～177
- (5) 金丸昭治，高棹琢馬：水文学，朝倉書店，昭和50年，PP. 22～30，64～67，71～77
- (6) 池淵周一：計画降雨，土木学会水理委員会，1976年，PP. 49～65
- (7) 土木学会：水理公式集，昭和38年増補改訂版，昭和42年，PP. 384～389
- (8) 土木学会：水理公式集，昭和46年度改訂版，昭和49年，PP. 105～107，433～434
- (9) 吉川秀夫：河川工学，朝倉書店，昭和41年，PP. 15～23
- (10) 山本三郎：河川工学，朝倉書店，昭和33年，PP. 93～98
- (11) 本間仁，安芸皎一：物部水理学，岩波書店，1973年，PP. 562～568
- (12) 石黒政儀：ハイエトグラフとその特性 に関する研究，土木学会論文集，第155号，1968年，PP. 8～17
- (13) 石原藤次郎，池淵周一：日降水量の空間的，時間的確率構造とそのシミュレーション，土木学会論文集，No.197，1972年
- (14) 高松气象台：管内気象観測日報，1926年～1974年
- (15) 高知气象台：管内気象観測日報，1941年～1974年
- (16) 松山气象台：管内気象観測日報，1945年～1974年
- (17) 徳島气象台：管内気象観測日報，1945年～1974年

第4章 中小河川に適用する計画高水の算定法 とその考察

第1節 計画高水流量の推定に関する従来 の研究

河川の治水計画策定にあたっては、いままでに論述してきたごとく、まづ、その河川の基準地点における基本高水を解析する必要がある。この基本高水のうちでも、河道改修計画の場合は、ピーク流量である計画高水流量のみを解析すればよいが、多目的ダム、遊水池などの洪水調節計画、農地のポンプ排水計画などの場合には、ピーク流量と合わせて、洪水流出の時間的变化を表わした計画ハイドログラフをも、解析しなければならない。

ところで、最大流量の推定法については、従来から多くの研究、考察がなされているが、それらを大別すると、特定の地域で経験的、実験的に得られた方法と理論的な考察に基づいて求められた方法とに分けられる。前者の方法のうち、ことに、公式を用いる方法には、従来から世界各地で提案されてきた多くの経験公式がある。こうした経験公式は、それぞれの特定の地域に対して、適合するようにつくられたものであるから、それをそのまま他の任意の地域に適用することは、一般に、妥当ではない。しかし、その経験公式が得られた地域と気象、地形などの諸条件の点で類似した地域には、適用できるであろう。

1 経験公式

それらの経験公式については、その対象流域とその素因別に分類し、その適用条件などを明らかにしておく必要があるので、それらを表-4・1・1から表-4・1・5にわたって示した。

表-4・1・1 (a) 山地流域を対象とする流量公式

公 式 名	Q (cfs)	対象構造物	適用された場所 発表年
Fiezell ¹⁾	$61.3 A^{0.5}$	—	コネチカット 1905
El Paso and S.W. Railway ¹⁾	$60 A^{0.5}$	カルバート, 橋	マサチューセッツ 1911
New Kuichling ¹⁾	$\frac{0.065 A (396800 + A)}{15360 + A}$	—	アメリカ大西洋岸 1914
Beale ¹⁾	$CD^{0.75}$	—	ボンベイ 1923
Schnackenberg ¹⁾	$20000 D^{0.5}$	—	ニュージーランド 1949
Bakadur ¹⁾	$CD^{(0.92 - \frac{1}{14} \log D)}$	—	インドのハイデラバ ードデカン地方 1957

表-4・1・2 (b) 市街地流域を対象とする流量公式

(I) 流域面積のみを必要とする公式

公 式 名	Q (cfs)	対象構造物	適用された場所 と発表年
Metcalf and Eddy ¹⁾	$3.95 A^{0.73}$	下水道	ルイスビル 1941

(I) $Q = CI^{\alpha} A^{\beta} S^{\gamma}$ の型の公式

Adams ¹⁾	$CI A^{12} \sqrt{\frac{S}{A^2 I^2}}$	下水道	ニューヨーク 1880
Bürkli - Ziegler ²⁾	$CI A \left(\frac{S}{A} \right)^{0.25}$	〃	チューリッヒ 1880
Mac Math ³⁾	$CI A^5 \sqrt{\frac{S}{A}}$	〃	セントルイス 1887
Hawksley ¹⁾	$CI A^4 \sqrt{\frac{S}{AI}}$	〃	ロンドン 1872
Parmley ⁴⁾	$CI A^{5/6} S^{1/4}$	〃	クリーヴランド 1905
Gregory ⁵⁾	$CI A^{0.86} S^{0.186}$	〃	ニューヨーク 1907
Gregory and Herring ⁶⁾	$CI A^{0.833} S^{0.27}$	〃	ニューヨーク 1907

備	考
原式は $q = 17.35\sqrt{8006/D}$	q は 1 mile^2 当りの最大流量
10000 mile^2 以下の流域を対象とする。	
インドの中部地方において 森林地帯 $C = 1000 \sim 1400$ 非森林地帯 $C = 1600$	
特別に流出の多いニュージーランドの最悪地域に用いられた。	
$C = 1600 \sim 2000$	

備	考
$6400 < A < 160000$ acre の範囲の流域に適用される。	

$C = 1.035$ ピーク流量時には降雨の $\frac{1}{2}$ が到達すると仮定している。	
50 acre 以下の流域を対象とする。	
街路、空地、すべて舗装された家屋密集地帯	$C = 0.75$
舗装された空地のあるところ	$C = 0.70$
家屋の多い地域	$C = 0.65$
普通の住居地域	$C = 0.55$
小さい空地がある普通の住居地域	$C = 0.45 \sim 0.55$
大きい空地があり、家屋のまばらなところ	$C = 0.35 \sim 0.45$
庭園、芝生などの多い地域	$C = 0.30$
公園、ゴルフ場	$C = 0.20$
自然状態地区	$C = 0.20$
マカダム舗装地区	$C = 0.30$
舗装地区	$C = 0.75$
S は地表面のこう配	
I は 1.0 あるいは最大時間降雨強度 $C = 0.7$	
$0 < C \leq 1.0$ I は 8～10 分間の最強降雨量を時間雨量になおしたものである。	
不透水性地域で $CI = 2.8$ としている。 この式は合理式に基づいている。	
郊外で $CI = 1.02$ 、都心で $CI = 1.64$ 。 R. Herring が 1889 年に作成したニューヨークの流量表から C. E. Gregory. がつくった式である。	

表-4・1・3 (c) 非市街地流域を対象とする流量公式

(I) 流域面積のみを必要とする公式

公 式 名	Q (c f s)	対象構造物	適用された場所 と発表年
O' Connell ¹⁾	$\sqrt{458(4.58+A)} - 45.8$	—	— 1868
Kresnik ¹⁾	$C \frac{71A}{7.84 + \sqrt{A}}$	カルバート, 橋	— 1886
C.B. and Q.Railroad ⁷⁾	$\frac{59.2A}{37.9 + \sqrt{A}}$	カルバート	シカゴ 1906
Coolcy ⁷⁾	$2.03 A^{2/3}$	カルバート, 橋	— 1906
Gray ¹⁾	$0.049 A^{1.75}$	カルバート	— 1911
Italian ¹⁾	$\frac{71.8A}{7.87 + \sqrt{A}}$	カルバート, 橋	北部イタリア 1911
Mc Crory and Others ¹⁾	$0.159 A^{5/6}$	カルバート, 橋	アーカンサス 1915
	$(\frac{90}{A} + \frac{1}{64}) A$	〃	ルイジアナ 1915
	$(\frac{3400}{A+32000} + \frac{1}{128}) A$	〃	フロリダ 1915
Elliot ¹⁾	$(\frac{0.948}{\sqrt{A}} + 0.00937) A$	—	アーカンサス北東部 1919
	$(\frac{0.792}{\sqrt{A}} + 0.00568) A$	—	ミシシッピー河上流 1919
	$(\frac{26.6}{468 + \sqrt{A}} - 0.0177) A$	—	イリノイ北部 1919
Meyer ⁸⁾	$100 C F D^{0.6}$	—	ミネソタ 1928
Ryvos ¹⁾	$CA^{2/3}$	—	パンジャブ地方 1944
Morgan Enginee- ring Co. ¹⁾	$(\frac{1.8}{\sqrt{A}} + \frac{1}{80}) A$	—	Cacho 川 1950
	$(\frac{1.1}{\sqrt{A}} + \frac{1}{88.8}) A$		アーカンサス 1950

(II) 平均流速を必要とする公式

Herring ¹⁾	$\frac{RVA}{640 L}$	カルバート, 橋	フィラデルフィア 1879
Lillie ¹⁾	$VRC \Sigma (\theta L)$	〃	インド 1924
Gregory and Arnold ⁹⁾	$\frac{(3600t)^{4nn_1}}{(1000)^{2nn_1}} (\frac{C_1}{L})^{4nn_1} (CIA)^{4nn_1}$ $\times C_2^{8nn_1} S^{1.5nn_1}$	—	— 1932

備	考
	ヨーロッパ、インド、アメリカの河川を調査して得られた。特に小流域によく適合するといわれている。
	ドイツのベルツシュドルフのプリースニッツ川ではCの最大値は9.07であり、ヨーロッパの川でCの最高は6.0である。
	流速を 10 ft/sec. と仮定している。
	貯留効果を考慮していない。
	いづれも湿地帯に適用される公式である。
	比較的起伏に富んだやや砂質分の少ない土地に対しては50%の割増しをする方がよい。粘土質の土地では100%の割増しをする。
	よく水を吸収し、排水のよい地域に用いられる。
	200 mile^2 以下の流域に適用される。
	Fは確率年により決まる係数。
	インド北部で $C=9.1$
	沼、湿地帯に適用される。

R ; 一出水の総流出高 (inch) V ; 平均流速 (ft/sec.)
V ; 平均流速 (ft/sec.), $C = 1.1 + \log L$, L ; 流域長 (miles), $R = 2 + \text{年雨量 (inch)}/15$ θ ; 流域を支川ごとの流域に分けて、各流域を扇形とみなしたときの中心角(度)
C ; 流出係数, $C_1 = \frac{V}{v}$ v ; 河道(長さL),を流下する平均流速 (ft/sec.), V ; 対象地点の流速 (ft/sec.) C_2 ; 幹川の状態, 形で決まる定数, n ; 降雨強度公式 $\frac{K}{t^n}$ の指数 n, t ; 集中時間 (hr.) $n_1 = \frac{1}{4-n}$, I ; 集中時間内平均降雨強度 (inch/hr) この公式は、合理式に基づいてつくられたものである。

(Ⅱ) その他の公式

公 式 名	Q (cfs)	対象構造物	適用された場所 と発表年
Dredgeor Burge ¹⁾	$\frac{2.03 A}{L^{2/3}}$	カルバート, 橋	マドラス 1878
Walker ¹⁾	$\frac{CRD}{L^{5/6}}$	〃	アメリカ 1922
Protodiaknov ¹⁾	$16.67 (I_d k - i) A_k$	〃	ソ連不凍土地帯 1931

表-4・1・4 (d) 全流域を対象とする流量公式

(I) 流域面積のみを必要とする公式

公 式 名	Q (cfs)	対象構造物	適用された場所 と発表年
Dickens ¹⁾	$CA^{0.75}$	—	インド 1865
Fanning ¹⁾	$0.92 A^{5/6}$	カルバート, 橋	アメリカ 1878
Lauterberg ¹⁾	$A \left(\frac{0.96}{6 + 3.9 \times 10^{-6} A} + 8.275 \times 10^{-4} \right)$	—	— 1901
Williams ⁸⁾	$\frac{C}{D^n}$	—	— 1937

(Ⅱ) 時間雨量を必要とする公式

Chamier ¹⁾	$5 C I A^{0.75}$	カルバート, 橋	サウスウェールズ 1898
Grunsky ¹⁰⁾	$\frac{C C_l I A}{t^n}$	—	カリフォルニア 1932
U.S.S.R. Scientific Academy ¹⁾	$\frac{C (Hr)^{\frac{5}{4}} C_l^{\frac{3}{4}} I^{\frac{3}{17}} W^{\frac{1}{4}}}{3 t c^{\frac{3}{4}} L^{\frac{1}{4}}} A_k$	カルバート	ソ 連 1952

備	考
インドのマドラス鉄道に用いられた。	
C=4~30, 普通は12, R;年平均雨量 (inch), L;対象地点から流域の中心点までの直線距離	
I _d ;設計降雨強度 (cm/min), $I_d = \frac{5}{1+0.06t}$, t;降雨継続時間 k;ヨーロッパ、ロシアの中心における最大降雨強度に対する対象流域のその比, i=透水係数 (cm/min)	

備	考
けわしい丘; C=11.0~15.6, 起伏する土地, あるいは郊外の丘; C=7.8~9.4 固まった粘土地帯; C=6.3~7.8, 一般の平地砂地, 耕作地など; C=1.6~4.7	
この公式はアメリカの河川の比較的少数の観測値から導びかれた。	
3~4日間継続雨量の記録から平均日雨量を2インチとして計算している。	
C, nの値については別表参照	

20 acres~410 mile ² の流域に適用される。 Cは流出係数	
t;集中時間(hr), I;最大時間降雨強度 (inch/hr), $C_1 = 1/(1+C_2\sqrt{t})$ であって, t ≤ 0.33 hr の場合 C=0.586, n= $\frac{3}{4}$ C ₂ = 0.013 (不透水性地域) C ₂ = 1.3 (平地) 0.33 < t < 6.4 hr " C=0.782, n= $\frac{1}{2}$ = 0.25 (山地) = 6.5 (砂地) t > 6.4 hr " C=1.562, n= $\frac{2}{3}$ = 0.40 (起伏の多い土地)	
C;係数, 100年洪水の場合1.0 H;積雪量を雨量に換算したもの(mm) t _c ;最短浸透時間(等雨量線図から得られる) $r = \frac{1}{1+A'_k/A_k}$ (A' _k ;森林面積(km ²) A _k ;合流域面積(km ²))	C ₁ ;森林で5.0, 森林のない地域は6.5 S;幹川の平均こう配 W;流域平均幅(km) L;幹川流路長(km)

(Ⅲ) 日雨量を必要とする公式

公 式 名	Q (c f s)	対象構造物	適用された場所 と発表年
Possenti ¹¹⁾	$C \frac{R}{L} (A_2 + \frac{A_1}{3})$	カルバート, 橋	アペニン山脈 1914
Pettis ¹⁾	$C (RW)^{1.25}$	—	アメリカ 1934

(Ⅳ) 年雨量を必要とする公式

Iszkowshi ¹²⁾	$Q_m = (0.022 C_1 + b C_2) R A_k$	—	オーストラリア 1884
Cramer ¹⁾	$\frac{C C_1 R A S^{1/3}}{5.76 \times 10^3 + (2.7 \times 10^7 C_1 R A)^{1/3}}$	カルバート, 橋	ニューヨーク モホーク川 1911
Rhind ¹⁾	$\frac{C S R D^n}{L}$	—	— 1924
Ribeiro ¹³⁾	$Q_m = \frac{17 F C C_1 A_k \sqrt{R}}{\sqrt{A_k + 10}}$	—	— 1951

別表 Williams 公式の C , n の値

地 域	$D < 10 \text{ mile}^2$		$D = 10 \sim 20000 \text{ mile}^2$	
	C	n	C	n
アメリカ 北 部	1480	0.75	2400	0.54
ミシシッピー川流域	2500	〃	4800	0.47
ロッキーマウンテン	1900	〃	3600	0.45
アメリカ太平洋岸	1625	〃	2700	0.53
イギリスの高地	800	〃	1200	0.54
インド 西 部	2700	〃	4600	0.54
インド 北 東 部	1400	〃	1700	0.65

備	考
C の平均は 1.72, R ; 24 時間降雨量 (inch) A ₁ ; 平地面積 (acre) L ; 幹川流路長 (mile) A ₂ ; 山地面積 (acre)	
ミシシッピー川流域の湿地帯	C = 310 R ; 日雨量 (inch)
プレーリー	= 100 W ; 平均流域幅 (mile)
ロッキー山脈	= 200
乾燥地帯	= 40

R ; 平均年雨量 (m), C ₁ = 0.20 (平地で砂地, あるいは湿地帯), C ₁ = 0.65 (山岳地域) Q _m ; 可能最大流量 (m ³ /sec), C ₂ = 0.035 (透水性地域), C ₂ = 0.70 (不透水性地域) b = 0.59 (11150 + A _k) / (818 + A _k)	
C = 186 (自然流域), C = 697 (不透水性の平地, たとえば市街地), R ; 平均年雨量 (inch) C ₁ = 1 - sin (- tan ⁻¹ $\frac{709 A_1}{AR}$), A ₁ ; 平地の面積 (acre), S ; 流域の平均勾配 (1/1000) 100 mile ² 以下の流域に適用される。	
R ; 最大年雨量, L ; 流域の最大長, C ; R/L に依存する係数, S ; 対象地点より上流 3 mile の地点 の高さを feet で表わした勾配, n ; 指数 41 mile ² 以上の流域を対象とする。	
Q _m ; 可能最大流量, C ₁ = $1.28 - 0.07 \frac{L^2}{A_k}$, F ; 頻度に関する係数で, 最大洪水に対して 1.0 R ; 平均年雨量 (inch) 農耕地 C = 1.00 岩 山 C = 1.25 森 林 C = 0.75	

表-4・1・5 記号の説明

記号	説 明	単 位	記号	説 明	単 位
A	流域面積	acre	R	降雨量	inch
A _k	〃	km ²	S	勾 配	1/1000
D	〃	mile ²	t	降雨継続時間	minutes
I	時間降雨強度	inch/hour	V	平均流速	feet/sec
L	幹川流路長	mile	W	流域平均幅	mile
Q	最大流量	feet ³ /sec (cfs)			

すなわち、流域の対象区域としては、山地流域、市街地流域、非市街地流域、および、全流域に分け、また、それを素因別に分類した。

この分類によれば、以下のことが考察できる。すなわち、山地流域を対象とした公式は、ほとんどが流域面積のみから求める公式となっている。また、市街地流域を対象とした公式は、流域面積のみを必要とする公式と降雨強度、流域面積、および、勾配を必要とした合理法に基づいている半経験公式に分類することができる。さらに、非市街地流域を対象とする公式は、流域面積のみを必要とする公式と平均流速を必要とする公式、および、その他の公式に分類することができる。最後に、全流域を対象とする公式には、流域面積のみを必要とする公式と降雨資料に時間雨量を必要とするもの、日雨量を必要とするもの、および、年雨量を必要とするものに分類することができる。また、これら分類された公式については、以下のことが考察される。

流域面積のみを必要とする公式

こうした公式は、きわめて簡便なものであるが、式中の係数、定数、および、指数の値は、それぞれの公式のつくられた特定の地域に適合するように定められたものであり、わが国の流域に適用する場合、式の形は、そのまま使うにしても、係数、定数、指数の決定には、多くの流量資料を必要とする難点がある。また、それだけ多くの流量資料があれば、もっと合理的な推定法の適用が可能であるから、こうした公式の適用は、なるべく避けるべきである。

$Q = C I^{\alpha} A^{\beta} S^{\gamma}$ の形の公式

この種の形の公式は、かなり合理的な形をしており、いわば半経験公式である。ところで、流域面積 A と勾配 S は、地形図などより簡単に得られるが、問題は、降雨強度 I である。この種の公式には、 I として、最大時間降雨強度を用いるものと 到達時間（集中時間）内の平均降雨強度を用いるものがあり、理論的には、後者のほうがよいわけであるが、到達時間の推定に多くの問題があり、また、数多くの水文資料を必要とする。一方、前者の場合は、時間雨量の連続記録さえあれば、容易に、 I を決定できる。したがって、この種の公式のうち、 I として最大時間降雨強度を用いるものは、比較的適用が容易である。なお、いずれにしても、 C の値は、そのまま用いることは、避けるべきで、やはり、若干でもよいから、流量記録によって検討しておく必要がある。また、 C は、合理法の場合とちがって、いわゆる、流出係数ではないから、1.0 以上になるこ

ともあることを、注意しなければならない。

平均流速を必要とする公式

この種の公式は、洪水時における流速測定が困難であることから、平均流速の資料が得難いので、一般に、適用、検討は困難である。

時間雨量を必要とする公式

このうちのChamier 公式¹⁾は、合理法によく似た形をしていて、かなり合理的で、簡単な式である。

日雨量を必要とする公式

Possenti 公式¹¹⁾の平地面積 A_1 、山地面積 A_2 、幹川流路長 L は、地形図から容易に得られ、また、日雨量 R も比較的得やすい。また、Pettis 公式¹⁾の流域平均幅 W も地形図から容易に得られる。よって、これらの公式は、わが国の小流域に簡単に適用でき、わずかの流量記録によっても、 C の値の、おおよその検討ができる。

年雨量を必要とする公式

この種の公式は、可能最大流量を求めるものであり、こうした流量は、既往最大流量の記録と比較して、はじめて、検討ができるものであるが、既往最大流量の記録も得難い。

また、一般に、検討しなければならない係数や定数を2つ以上含んでいる公式は、適用に問題が多い。

2 理論的考察による式

理論的考察に基づく最大流量の推定法のうち、代表的なものには、合理法^{20)~26)}、Chow¹⁴⁾の方法などがある。以下、それらについて論述、考察する。

(a) 合理法

現在、一般によく用いられている、いわゆる合理法の起源については、諸説があるが、1900年頃、下水道設計用の流量公式として、つくられたものである。その公式は、

$$Q = \frac{1}{3.6} \text{ fr } A$$

Q : 流量 (m^3/sec), r : 降雨強度 (mm/hr)

f : 流出係数 A : 流域面積 (km^2)

で表わされる。

合理法を用いる場合、流出係数 f の値と降雨強度 r の算定のための到達時間の決定が問題となる。流出係数 f は、本来、地形、地質条件の他に、降雨条件によっても支配されるものであるから、地形、地質条件のみによって、その値を規定することができない。したがって、 f の値の決定には、十分な降雨と流出の関係資料が必要である。また、到達時間の決定法も、いまだ、適正な算定法がなく、したがって、降雨強度 r も、適確を欠いている。よって、実用のときは、こうしたことに起因する誤差を流出係数を変動させて補っているのが現状である。

(b) Chowの方法

この方法は、1962年、Chow が、単位図法概念に基づいて提案したもので、ピーク流量 Q (c.f.s) は、

$$Q = AXYZ$$

で与えられたものである。

$$\text{ただし、} A \text{ は流域面積 (acre), } X = \frac{Re_o}{t}, \quad Y = \frac{1.008 R}{R_o},$$

$$Z = \frac{P t}{1.008 A} \text{ で、ここに、}$$

Re : 対象流域の過剰降雨量 (inch)

Re_o : 代表流域の過剰降雨量 (inch)

t : 降雨継続時間 (hr.)

R : 対象流域の総降雨量 (inch)

R_o : 代表流域の総降雨量 (inch)

P : 単位図のピーク流量 (c.f.s.)

であって、 $\frac{Re}{Re_o} = \frac{R}{R_o}$ と仮定している。

また、 R から Re を求める公式として、

$$Re = \frac{\left(R - \frac{200}{N} + 2\right)^2}{R + \frac{800}{N} - 8} \quad \text{ただし、} R > \frac{200}{N-2}$$

を提案している。ここに N は、流出指数 (runoff-number) と称するもので、地表被覆状態、表土層のタイプによって与えられるものである。実際にピーク流量を計算するには、この他にいくつかの、実測記録から得られる図表を必要とするわけである。この方法は、単位図を必要とし、単位図作成のためには、多くの水文資料を必要とする。また、この式においては、過剰降雨量を総雨量と N のみの関数として与えているが、過剰

降雨量は、先行降雨による土湿状態とか、降雨継続時間にも関係があるはずで、この点問題を含んでいる。

以上、従来の方法について概述し、それらの問題点を考察してきたが、本章においては、中小河川治水計画の計画高水流量の算定法として、広く実用されている合理法をとりあげるとともに、その重要なパラメータとなる洪水到達時間の算定法について考究することにした。

第2節 計画高水流量の算定法

1 合理法の基本概念

合理法は、計画高水流量の算定において、公式が非常に簡単で、かつ、わが国の河川に比較的適用性が多いため、従来から広く用いられてきている算定法である。その基本式を書けば、次式で与えられる。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f \cdot r \cdot A \text{ ----- (4.2.1)}$$

ここに、 Q_p ：ピーク流量(m^3/sec)、 f ：流出係数

r ：ピーク到達時間内の雨量強度(mm/hr)

A ：流域面積(km^2)

上記の式によって、計画高水流量を算定するには、つぎに述べる手順をとる。

- ① 計画基準地点における流域面積は、山地と平地に分けて測定する。
- ② 計画基準地点までのピーク流量の到達時間は、流域最遠の山腹から溪床への流入時間と河道流下時間に分けて算定する。
- ③ 計画高水流量の規模は、その河川の重要度に応じて、その超過確率年数をもって決定する。
- ④ 計画降雨は、上記の規模に応じ、かつ、ピーク流量の到達時間内の雨量強度をもって決定する。
- ⑤ この雨量強度の算定には、第3章において提案した中時間確率降雨強度式、または、降雨強度曲線を適用すると、適確な降雨強度が、きわめて、容易に算出できる。
- ⑥ 流出係数については、流域内の地質、地形、および、開発状況、また、降雨状況など

により変化する値で、決定しがたいものである。したがって、できるだけ実測値を用いるべきであるが、そうした資料は、一般に少ないので、普通は、物部の表を用いることにしている。

つぎに、合理法の適用に際して、非常に重要なことは、前述のごとく、洪水到達時間の適正なる算定と流出係数を適確に推定することである。そのうち、洪水到達時間の算定については、中小河川は、とくに、流路延長が短少、河川勾配も多種多様であり、従来用いられてきている算定法では、不充分である。

したがって、本節においては、従来用いられてきた経験公式と新しく理論式として、Kinematic wave 法を用いた合理的な算定法について研究、考察することにした。

2 洪水到達時間の算定

合理法に用いる到達時間は、計画河川の流域内最遠地点から計画基準地点までの雨水波の伝播時間、いわゆる、洪水到達時間であり、洪水時、雨水が山腹から溪床への流入時間と溪床から計画基準地点までの河道流下時間の和で与えられる。

(a) 経験公式

従来、わが国において用いられてきた洪水到達時間の算定法には、つぎの2式がある。

(I) ババリヤ地方の公式(いわゆる Rziha 式)

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{L}{w_1} \\ w_1 &= 72 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} \end{aligned} \right\} \text{----- (4.2.2)}$$

ここに、T：河道の流下時間(hr)

w_1 ：到達速度($\frac{km}{hr}$)

H：計画地点と河道最上流点との落差(km)

L：河道延長(km)

(II) Rziha の値による場合(いわゆる Kraven 式)

Rziha は、洪水の到達速度 w_2 を河道平均勾配($\frac{H}{L}$)に応じて、表-4・2・1に示すような値を与えている。

表-4・2・1 Kraven の洪水到達速度

H/L	$1/100$ 以上	$1/100 \sim 1/200$	$1/200$ 以下
$W_2 (m/sec)$	3.5	3.0	2.1
$W_1 (km/hr)$	12.6	10.8	7.6

したがって、河道の流下時間 T は、つぎの式で与えられる。

$$T = \frac{L}{W_1} \text{ ----- (4.2.3)}$$

ここに、 T = 河道流下時間 (hr)

L = 河道延長 (km)

しかしながら、上記の経験公式による洪水到達時間の算定法は、あいまいであり、また、いわゆる Rziha 式は、諸外国の文献にも、一切記されていないので、到達時間については、さらに、適切な算定法を用いる必要があると考えられる。

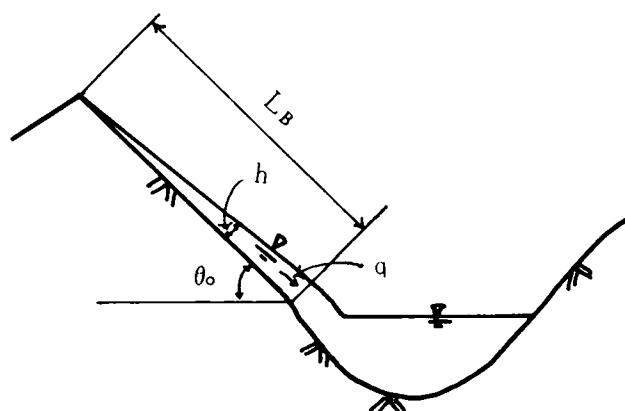
(b) 理論的考察による式

洪水の表面流は、流域の山腹斜面上を流れる地表面流と河道を流下する河道流に分類することができる。したがって、洪水到達時間の算定についても、山腹斜面から溪床への流入時間と河道の流下時間に分けて算定することにした。

まず、山腹斜面から溪床への流入時間の算定については、Kinematic wave 法を用いて解析し、また、河道流下時間の算定についても Kinematic wave 法 といわゆる Kraven 式、および、Manning の式による方法について論述、考察した。

(I) Kinematic wave 法

図-4・2・1



まず、Kinematic wave^{15)~19), 23)} 法とは、雨水の表面流出に、Manning の抵抗則を適用し、雨水流の運動方程式から山腹斜面の雨水到達時間を算出する、いわゆる、雨水流追跡法である。

いま、山腹斜面に降雨があった場合に、表面流出が発生する

ものとすれば、雨水流の運動方程式は、つぎの式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} h &= K_o q^{p_o} \\ K_o &= \left(\frac{N}{\sqrt{\sin \theta_o}} \right)^{p_o} \end{aligned} \right\} \text{----- (4.2.4)}$$

ここに、 q ：斜面下流端における単位幅当りの流量

N ：斜面の等価粗度係数

$\sin \theta_o$ ：斜面の勾配、 $p_o = \frac{3}{5}$

また、雨水流の斜面流下時間内における水深は、つぎの式で表わされる。

$$h = \int_{t_1}^{t_2} r_e \cdot dt \text{----- (4.2.5)}$$

ここに、 r_e ：有効雨量

つぎに式(4.2.4)より、

$$q = \left\{ \frac{h}{K_o} \right\}^{\frac{1}{p_o}} \text{----- (4.2.6)}$$

だから、式(4.2.6)に式(4.2.5)を代入すると、 q は、式(4.2.7)で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} q &= \left\{ \frac{\int_{t_1}^{t_2} r_e \cdot dt}{K_o} \right\}^{\frac{1}{p_o}} = \left(\frac{r_{mp} \cdot T_B}{K_o} \right)^{\frac{1}{p_o}} \\ r_{mp} &= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} r_e \cdot dt \\ T_B &= t_2 - t_1 \end{aligned} \right\} \text{----- (4.2.7)}$$

一方、 q を斜面距離について解けば、

$$\left. \begin{aligned} q &= \int_0^x r_e \cdot dx = r_{mp} \cdot L_B \\ x &= L_B \end{aligned} \right\} \text{----- (4.2.8)}$$

よって、式(4.2.7)と式(4.2.8)より、

$$\left(\frac{r_{mp} \cdot T_B}{K_o} \right)^{\frac{1}{p_o}} = r_{mp} \cdot L_B$$

したがって、 T_B は、つぎの式で表わされる。

$$T_B = r_{mp}^{p_o} \cdot L_B^{p_o} \cdot K_o / r_{mp} = K_o L_B^{p_o} / r_{mp}^{(1-p_o)} \text{----- (4.2.9)}$$

つぎに、式(4.2.9)について、それぞれの単位を T_B (hr), L_B (km), r_{mp} (mm/hr), N (sec/m^{1/3})で表わすと、

$$T_B = 7.348 \left(\frac{N}{\sqrt{\sin \theta_0}} \right)^{3/5} L_B^{3/5} / r_{mp}^{2/5} \text{ ----- (4.2.10)}$$

いま、流出率を f とすると、

平均有効雨量強度は、

$$r_{mp} = f \cdot r_m \text{ ----- (4.2.11)}$$

ここに、 r_m : 平均降雨強度 mm/hr であるから、式(4.2.10)は、つぎの式で表わされる。

$$T_B = 7.348 \left(\frac{N}{\sqrt{\sin \theta_0}} \right)^{3/5} \cdot L_B^{3/5} / (f \cdot r_m)^{2/5} \text{ ----- (4.2.12)}$$

すなわち、式(4.2.12)によって、雨水が山腹頂から溪床まで流下する時間を算出することができる。また、 T_B (hr)は、山腹の等価粗度係数 N 、山腹の平均傾斜角 θ_0 、山腹の斜面距離 L_B 、流入時間内の平均降雨強度 r_m 、流出率 f の関数となっており、これらの値が、既に、測定されていると、容易に算定することができる。一般に、山腹の等価粗度係数は、実験結果によると、植生面上では、 $0.3 \sim 0.4 \text{ m}^{-1/3} \text{ sec}$ 程度である。

いま、式(4.2.12)において、水源山腹の等価粗度係数を $N = 0.30$ と仮定し、山腹勾配を $\frac{1}{3}$ から $\frac{1}{5}$ の範囲に、また、山腹斜面長を 0.5 km から 1.5 km までに变化させた場合の算出結果を表-4.2.2に示す。

表-4.2.2 河道流入時間(T_B)の解析

単位 hr

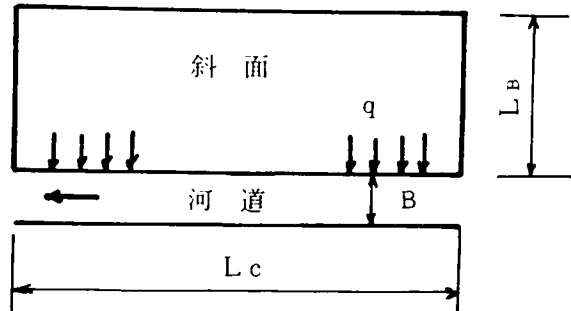
$\frac{L_B}{\sin \theta_0}$ r_{mp}	0.5 km			1.0 km			1.5 km		
	1/3	1/4	1/5	1/3	1/4	1/5	1/3	1/4	1/5
20	1.09	1.18	1.26	1.65	1.80	1.92	2.11	2.30	2.46
30	0.92	1.00	1.07	1.40	1.52	1.63	1.79	1.95	2.08
40	0.83	0.90	0.96	1.25	1.36	1.45	1.60	1.74	1.86
50	0.76	0.82	0.88	1.14	1.24	1.33	1.46	1.59	1.70
60	0.70	0.76	0.81	1.06	1.16	1.24	1.36	1.48	1.58
70	0.66	0.72	0.77	1.00	1.09	1.16	1.28	1.39	1.49
80	0.63	0.68	0.73	0.95	1.03	1.10	1.21	1.32	1.41
100	0.57	0.62	0.66	0.87	0.94	1.01	1.11	1.21	1.29

つぎに、雨水の河道を流下する時間についても、流入時間と同じ考え方で解くことができる。

すなわち、河道のある区間について、上流端よりの流入量がないとすれば、山腹斜面

よりの雨水流は、図-4・2・2のパターンによって、河道を流下すると考えられるから、つぎの式が成立する。

図-4・2・2



$$A = K_c Q^{P_c}$$

$$A = \int_{t_1}^{t_2} q \, dt$$

$$Q = \left\{ \int_{t_1}^{t_2} q \, dt / K_c \right\}^{\frac{1}{P_c}}$$

$$Q = \left[\frac{q \cdot T_c}{K_c} \right]^{\frac{1}{P_c}} \quad \text{----- (4.2.13)}$$

ただし、

$$K_c = \left\{ n, (\sin \theta_c)^{-\frac{1}{2}} K_1^{-\frac{2}{3}} \right\}^{P_c}$$

$$R = K_1 \cdot A^Z$$

$$Q = \int_0^x q \cdot dx = q \cdot L_c = r_{mp} \cdot L_B \cdot L_c$$

この関係を式(4.2.13)と等式におくと、

$$r_{mp} \cdot L_B \cdot L_c = \left(\frac{1}{K_c} \cdot q \cdot T_c \right)^{\frac{1}{P_c}}$$

$$\left(r_{mp} \cdot L_B \right)^{P_c - 1} \cdot L_c \cdot K_c = T_c$$

となり、河道流下時間は、つぎの式で求めることができる。

$$\therefore T_c = K_c \cdot L_c^{\frac{P_c}{P_c - 1}} / (r_{mp} \cdot L_B)^{\frac{1}{P_c - 1}} \quad \text{----- (4.2.14)}$$

広矩形断面の水路においては、 $K_1 = \frac{1}{B}$ 、 $Z = 1$ 、 $P_c = \frac{3}{5}$ となり、

$$K_c = \left(\frac{n, B^{\frac{2}{3}}}{\sqrt{\sin \theta_c}} \right)^{\frac{3}{5}} \text{ となる。}$$

ここに、A：通水断面 B：河幅
 Lc：河道延長 n：河道の粗度係数

よって、式(4.2.14)は、つぎの式となる。

$$T_c = \left(n \cdot L_c \cdot B \sqrt{\sin \theta_c} \right)^{3/5} / (r_{mp} \cdot L_B)^{2/5} \quad \text{----- (4.2.15)}$$

つぎに、河幅Bについては、計画高水流量との間にほぼ、つぎの関係²¹⁾が成り立つので、

$$B = \alpha Q_p^{3/4} = (0.5 \sim 1.0) Q_p^{3/4} \quad \left. \vphantom{B = \alpha Q_p^{3/4}} \right\} \text{----- (4.2.16)}$$

平均 $B = 0.7 Q_p^{3/4}$

ここでは、河幅Bは安全をみて、つぎの式を用いる。

$$B = 0.5 Q_p^{3/4} \quad \text{----- (4.2.17)}$$

さらに、式(4.2.8)において、

$$r_{mp} \cdot L_B = q_{mp} = \frac{Q_p}{L_c} \quad \text{----- (4.2.18)}$$

であるから、上式の Q_p については、河道の最上流地点と計画基準地点の平均値を採用し、これを $1/2$ と仮定し、また、単位を前述の斜面の場合と同様にすると、式(4.2.15)は、つぎの式ようになる。

$$T_c = \frac{1}{3.6} \frac{n^{3/5} L_c^{3/5} \cdot (0.5 Q_p^{3/4})^{2/5}}{\sin \theta_c^{3/10} \left(\frac{1}{2} Q_p / L_c \right)^{2/5}} \quad \text{----- (4.2.19)}$$

いま、式(4.2.19)において、中小河川における河道の粗度係数は、一般に、0.025～0.045であるので、 $n = 0.035$ 、また、河床勾配は、 $1/100$ から $1/500$ の範囲に、計画高水流量は、 $30 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $1000 \text{ m}^3/\text{sec}$ に変化させた場合の洪水伝播速度 $\frac{L_c}{T_c}$ を表-4・2・3に示す。

表-4・2・3 河道の洪水伝播速度

		単位 km/hr				
$\sin \theta_c \backslash Q_p$		$30 \text{ m}^3/\text{sec}$	$100 \text{ m}^3/\text{sec}$	$300 \text{ m}^3/\text{sec}$	$500 \text{ m}^3/\text{sec}$	$1000 \text{ m}^3/\text{sec}$
$1/100$		9.5	10.7	12.0	12.6	13.5
$1/200$		7.7	8.7	9.7	10.2	11.0
$1/500$		5.9	6.6	7.4	7.8	8.3

(II) Manning の抵抗則による方法

河道流については、Manning の抵抗則から成り立つことは、よく知られているとおりであるので、Manning の式を用いて、河道部の平均洪水流速を解析することにする。

いま、わが国の中小河川の計画河幅は、計画高水流量だけでなく、水深、河床勾配、粗度係数などによって、とるべき適当な値は異なるが、既往の資料から統計的な標準²¹⁾を表わすと、表-4・2・4 のとおりである。

表-4・2・4 計画高水流量と計画河幅の関係

計画高水流量 (m^3/sec)	計 画 河 幅 (m)	計画高水流量 (m^3/sec)	計 画 河 幅 (m)
30	8 ~ 12	500	60 ~ 80
100	15 ~ 25	800	80 ~ 110
300	40 ~ 60	1000	90 ~ 120

また、計画水深決定については、計画高水流量、堤内外地盤高、築堤高などが多種多様の関連性をもっているので、一般的に決定することができないが、中小河川の治水計画においては、計画高水流量が $30 m^3/sec$ 級は $1.5 m$ 、 $100 m^3/sec$ 級は $2.0 m$ 、 $300 m^3/sec$ 級は $2.5 m$ 、 $500 m^3/sec$ 級は $3.0 m$ 、 $1000 m^3/sec$ 級は $3.0 \sim 4.0 m$ 位の値を採用している場合が多い。

したがって、これらの水理諸元を用いて、河道の洪水流速を解析した結果は、表-4・2・5 に示すとおりである。

表-4・2・5 Manning の式の河道平均流速

単位 m/sec () km/hr

$\sin \theta_c \backslash Q_p$	$30 m^3/sec$	$100 m^3/sec$	$300 m^3/sec$	$500 m^3/sec$	$1000 m^3/sec$
$1/100$	(8.3) 2.3	(10.4) 2.9	(11.2) 3.1	(12.2) 3.4	(13.3) 3.7
$1/200$	(5.8) 1.6	(7.2) 2.0	(7.9) 2.2	(8.6) 2.4	(9.4) 2.6
$1/500$	(4.0) 1.1	(4.3) 1.2	(4.7) 1.3	(5.0) 1.4	(5.4) 1.5

以上、理論的考察による洪水到達時間の新しい算定法について解析した結果、Kinematic wave 法による山腹斜面から溪床への流入時間については、水源山腹の勾配は、ほとんどが $1/3$ から $1/5$ の範囲のものであり、また、等価粗度係数を 0.30 と仮定し、山

腹斜面長を0.5 kmから1.5 kmまでに变化させた場合、表-4・2・2に示したごとく、ほぼ、1.0時間から2.0時間を要することが明らかとなった。

つぎに、河道の流下時間については、Kinematic wave 法による河道の洪水伝播速度を示した、表-4・2・3と Kraven の値による洪水到達速度を示した、表-4・2・1を比較し、 $Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{sec}$ の場合を述べると、Kinematic wave 法においては、河床勾配 $\sin \theta_c$ が $1/100$ 、 $1/200$ 、 $1/500$ のとき、洪水伝播速度は、それぞれ、 12.6 km/hr 、 10.2 km/hr 、 7.8 km/hr 、また、一方、Kraven の値では、河床勾配が $1/100$ 以上、 $1/100 \sim 1/200$ 、 $1/200$ 以下のとき、洪水流下速度は、それぞれ 12.6 km/hr 、 10.8 km/hr 、 7.6 km/hr となっており、両者の値は、きわめて近い値をとることがわかる。したがって、河道の洪水伝播速度の値には、Kraven の値を適用してよいことが明らかとなった。

つぎに、Kinematic wave 法による河道の洪水伝播速度を示した、表-4・2・3と Manning の抵抗則による河道の洪水平均流速を示した、表-4・2・5を比較すると、Kinematic wave 法の値が Manning の式の値より、かなり大きい値となることがわかる。

いま、 $Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{sec}$ の場合を述べると、Kinematic wave 法においては、河床勾配が $1/100$ 、 $1/200$ 、 $1/500$ のとき、洪水伝播速度は、それぞれ、 12.6 km/hr 、 10.2 km/hr 、 7.8 km/hr 、また、一方、Manning の抵抗則による方法では、洪水流下速度は、それぞれ、 12.2 km/hr 、 8.6 km/hr 、 5.0 km/hr となっている。

このことについては、高棹¹⁷⁾は、理論上、表面流の伝播速度と Kinematic wave に関して、Kinematic wave による河道の伝播速度と Manning の抵抗法則による平均流速との関係が $\frac{5}{3}$ 、Chezy の抵抗法則の場合が $\frac{3}{2}$ となることを提唱しており、これを追証するものである。

以上の考察から、本研究における洪水到達時間の算定法としては、山腹斜面から溪床への流入時間は、Kinematic wave 法、河道の流下時間は、Kraven の値から算出し、これを加算して算定することにした。

3 計画降雨強度の算定

合理法を用いて計画高水流量を算定する場合に、まず、重要なことは、適確なる計画降雨強度を算定することである。これがためには、適正な洪水到達時間を算定すること

が必要であり、その算定法については、前項で述べた通りである。したがって、計画降雨強度については、これを基にして、適確なる計画降雨強度を算定することである。

すなわち、合理法に採用する計画降雨強度としては、洪水到達時間内の平均降雨強度を用いるが、この平均降雨強度は、計画高水流量の規模に適合した確率降雨強度を採用する。また、この確率降雨強度の算定法は、一般に、確率降雨強度式、および、確率降雨強度曲線を用いて算定することになっている。

したがって、治水計画策定にあたり、基本高水のうち、計画高水流量を解析、設定するためには、この確率降雨強度式の解析が必要となる。この問題については、第3章において、中小河川の治水計画に適用する計画降雨として、適合性の高い中時間確率降雨強度式の算定法を提案している。

また、降雨資料の未整備地点の計画降雨強度の算定についても、第3章第5節において論述したごとく、基幹観測所からの降雨の任意地点への変換解析を行なうと、簡単に算出することができる。

4 流出係数の決定

合理法に適用する流出係数は、流域内の地形、地質、および、土地の開発状況、また、降雨状況によって変化する値であり、したがって、適確に決定することは困難であるが、合理法を用いる限り、流出係数は、洪水到達時間内のものを用いるべきである。

従来、わが国においては、物部が与えた、表-4・2・6²⁴⁾の値を採択し、地目の異なる混在流域においては、面積比率による総合流出係数を用いることにしている。

表-4・2・6 日本河川の流出係数 f の値

急峻な山地	0.75 ~ 0.90
三紀層山岳	0.70 ~ 0.80
起伏のある土地および樹林	0.50 ~ 0.75
平坦な耕地	0.45 ~ 0.60
かんがい中の水田	0.70 ~ 0.80
山地河川	0.75 ~ 0.85
平地小河川	0.45 ~ 0.75
流域のなかば以上が平地である大河川	0.50 ~ 0.75

しかしながら、都市部を対象とする場合には、開発前の状態については、物部の数値を参考とし、開発後の値は、0.9以上にすべきであろう。

第3節 香川県内主要河川の計画高水流量の解析と考察

1 計画高水流量の解析

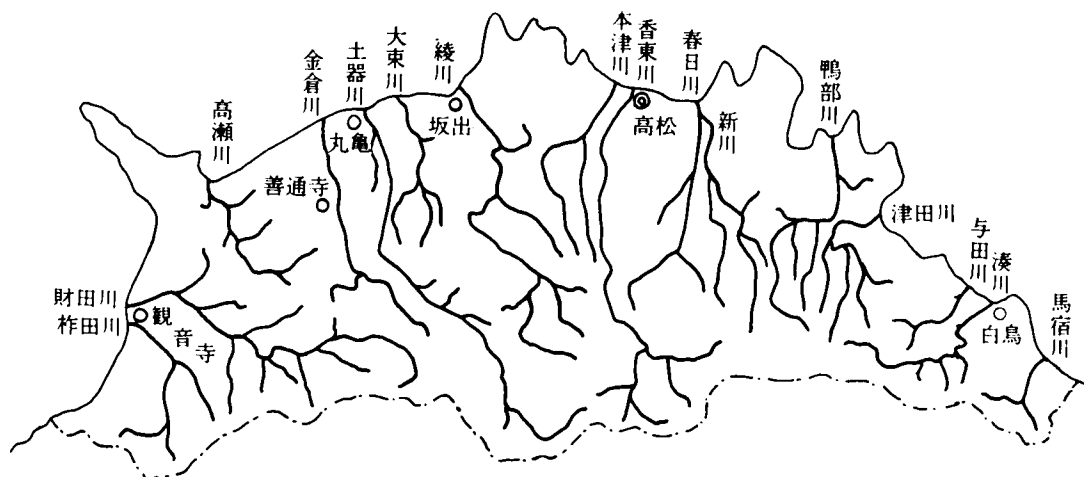
① 概要

本節においては、香川県内の主要河川の計画高水流量を算定する。一般に、中小河川の治水計画における確率年数は、100年から30年までを採用しているのので、ここでは、100年、50年、30年の確率高水流量を解析することにした。

すなわち、解析法は、合理法、洪水到達時間の算定には、新しく提案した Kinematic wave 法と Kraven の値から算定する方法を用い、また、計画降雨強度の算定には、高松の中時間確率降雨強度式、および、降雨強度曲線を適用し、さらに、日雨量資料のみ整備されている地点への変換に、確率日雨量比を用いた解析を試みた。

解析対象の香川県内の主要河川的位置図は、図-4・3・1に示すとおりである。また、各河川の計画基準地点（流域の最下流地点）における流域面積は、建設省地理院発行の1/50,000地形図を用い、その面積を山地部と平地部に区分して測定し、表-4・3・1に示した。

図-4・3・1 香川県内主要河川位置図



⑤ 洪水到達時間の算定

洪水到達時間の算定は、表-4・3・1に示す。

ここで、 H_A は、その河川の最遠地での山頂の標高、 H_B は、溪谷の始まりの溪床の標高、 H_C は、河川が山地部から平地部に移り変わる地点の河床の標高、 H_D は、河川下流の計画基準地点の河床の標高を、それぞれ、 $1/50,000$ 地形図から測定したものである。また、 L_1 は、標高 H_A 地点と H_B 地点の水平距離、 L_2 は、標高 H_B 地点と H_C 地点の水平距離、 L_3 は、標高 H_C 地点と H_D 地点の水平距離を、それぞれ、同じ地形図より測定したものである。

つぎに、 I_1 は、山腹水源から溪床までの山腹勾配、また、 T_B は、その流入時間を表わしたものである。なお、この T_B の算定には、前節で提案した Kinematic wave 法による流入時間を表わした、表-4・2・2を用いて算出した。また、 I_2 、 I_3 は、標高 H_B 地点と H_C 地点、および、標高 H_C 地点と H_D 地点の、それぞれ、河床勾配を表わしたもので、この間の洪水到達時間 T_C 、および、 T_D については、Kraven の値、表-4・2・1を用いて算出したものである。そして、最後に、求める洪水到達時間 T_A は、これらの到達時間を加算して算出した。

⑥ 計画高水流量の解析

香川県内主要河川、16 河川の 100 年、50 年、30 年確率高水流量の解析については、表-4・3・2にその解析の過程を示した。

この解析の過程に適用した、高松の確率降雨強度は、本研究で提案した中時間確率降雨強度式の算定法から算出したものである。また、降雨の補正係数値においても、新しく提案した確率日雨量比を適用したものである。

表-4・3・1 香川県主要河川の洪水到達時間の解析

河川名	流域面積 km ²	流延路長 km	H _A m	H _B m	H _C m	H _D m	L ₁ km	L ₂ km	L ₃ km	H _A -H _B m	I ₁	T _B hr	H _B -H _C m	I ₂	W ₂ km/hr	T _C hr	H _C -H _D m	I ₃	W ₃ km/hr	T _D hr	T _A hr	洪水到達時間 hr
馬宿川	20.0	7.5	400	200	60	20	1.0	3.5	3.0	200	1/5	1.24	140	1/25	12.6	0.28	40	1/75	12.6	0.24	1.76	2.0
湊川	51.6	17.5	500	200	60	5	1.0	8.0	8.5	300	1/3	1.14	140	1/57	12.6	0.63	55	1/155	10.8	0.79	2.56	2.5
与田川	17.0	8.0	500	200	60	20	1.0	2.0	5.0	300	1/3	1.14	140	1/14	12.6	0.16	40	1/125	10.8	0.46	1.76	2.0
津田川	42.0	15.0	400	200	60	3	1.0	3.0	11.0	200	1/5	1.45	140	1/21	12.6	0.24	57	1/193	7.6	1.57	3.26	3.5
鴨部川	68.0	21.0	600	400	80	3	1.0	5.0	15.0	200	1/5	1.45	320	1/16	12.6	0.40	77	1/195	7.6	1.97	3.82	4.0
新川	69.0	15.0	400	200	80	5	1.0	2.0	12.0	200	1/5	1.33	120	1/17	12.6	0.16	75	1/160	10.8	1.11	2.60	2.5
春日川	62.9	13.0	400	200	80	5	1.0	3.0	9.0	200	1/5	1.33	120	1/25	12.6	0.24	75	1/120	10.8	0.83	2.51	2.5
香東川	114.5	33.0	560	360	100	0	1.0	18.0	14.0	200	1/5	1.45	260	1/69	12.6	1.43	100	1/140	10.8	1.30	4.18	4.0
本津川	65.0	17.0	—	140	80	5	—	4.0	13.0	—	—	0.50	60	1/67	12.6	0.32	75	1/173	10.8	1.20	2.02	2.0
綾川	130.0	31.0	800	440	80	5	1.0	13.0	17.0	360	1/3	1.40	360	1/36	12.6	1.03	75	1/227	7.6	2.24	4.67	4.5
大束川	55.1	15.0	—	—	80	0	—	—	15.0	—	—	0.50	—	—	—	—	80	1/188	7.6	1.97	2.47	2.5
土器川	140.5	37.0	1000	600	140	0	1.0	19.0	17.0	400	1/2.5	1.25	460	1/41	12.6	1.51	140	1/121	10.8	1.57	4.33	4.5
金倉川	55.0	17.0	700	400	110	30	1.0	6.0	10.0	300	1/3	1.14	290	1/21	12.6	0.48	80	1/125	10.8	0.93	2.55	2.5
高瀬川	59.0	15.0	—	—	100	0	—	—	15.0	—	—	0.50	—	—	—	—	100	1/150	10.8	1.39	1.89	2.0
財田川	155.5	28.0	800	500	100	5	1.0	12.0	15.0	300	1/3	1.25	400	1/30	12.6	0.95	95	1/158	10.8	1.39	3.59	3.5
柞田川	53.0	16.0	500	300	80	3	1.0	7.0	8.0	200	1/5	1.33	220	1/32	12.6	0.56	77	1/104	12.6	0.63	2.52	2.5

表-4・3・2 香川県主要河川確率高水流量の解析

㊤ 高松 ㊦ 多度津 ㊧ 滝宮 ㊨ 塩江

河川名	流域面積	山地積	平地積	A _{m f m}	A _{r f f}	ΣA _f	洪水到達時間	100年確率					50年確率					30年確率				
								高松降雨強度	補正係数	計画降雨強度	高流量	比流量	高松降雨強度	補正係数	計画降雨強度	高流量	比流量	高松降雨強度	補正係数	計画降雨強度	高流量	比流量
馬宿川	20.0	19.0	1.0	15.2	0.6	15.8	2.0	52.1	㊤ 130	67.7	300	15.0	46.6	1.29	60.1	260	13.0	42.4	1.28	54.3	240	12.0
湊川	51.6	33.6	18.0	26.9	10.8	37.7	2.5	47.0	㊤ 130	61.1	640	12.4	42.0	1.29	54.2	570	11.0	38.0	1.28	48.6	510	9.9
与田川	17.0	15.0	2.0	12.0	1.2	13.2	2.0	52.1	㊧ 1.11	57.8	210	12.4	46.6	1.08	50.3	190	11.2	42.4	1.05	44.5	160	9.4
津田川	42.0	28.0	14.0	22.4	8.4	30.8	3.5	39.0	㊧ 1.11	43.3	370	8.8	34.0	1.08	36.7	310	7.4	30.5	1.05	32.0	270	6.4
鴨部川	68.0	38.0	30.0	30.4	18.0	48.4	4.0	36.0	㊤ 130	46.8	630	9.3	31.7	1.29	40.9	550	8.1	28.4	1.28	36.4	490	7.2
新川	69.0	26.0	43.0	20.8	25.8	46.6	2.5	47.0	㊧ 1.11	52.2	680	9.9	42.0	1.08	45.4	590	8.6	38.0	1.05	39.9	520	7.5
春日川	62.9	33.0	29.9	26.4	17.9	44.3	2.5	47.0	㊧ 1.11	52.2	640	10.2	42.0	1.08	45.4	560	8.9	38.0	1.05	39.9	490	7.8
香東川	114.5	79.0	35.5	63.2	21.3	84.5	4.0	36.0	㊤ 130	46.8	1100	9.6	31.7	1.29	40.9	960	8.4	28.4	1.28	36.4	850	7.4
本津川	65.0	25.0	40.0	20.0	24.0	44.0	2.0	52.1	㊤ 100	52.1	640	9.8	46.6	1.00	46.6	570	8.8	42.4	1.00	42.4	520	8.0
綾川	130.0	98.0	32.0	78.4	19.2	97.6	4.5	34.0	㊧ 1.11	37.7	1020	7.8	29.5	1.08	31.9	870	6.7	26.0	1.05	27.3	740	5.7
大束川	55.1	25.0	30.1	20.0	18.1	38.1	2.5	47.0	㊦ 0.92	43.2	460	8.3	42.0	0.89	37.4	400	7.3	38.0	0.87	33.0	350	6.4
土器川	140.5	81.0	59.5	64.8	35.7	100.5	4.5	34.0	㊤ 130	44.2	1230	8.8	29.5	1.29	38.1	1060	7.5	26.0	1.28	33.3	930	6.6
金倉川	55.0	33.0	22.0	26.4	13.2	39.6	2.5	47.0	㊧ 1.11	52.2	570	10.4	42.0	1.08	45.4	500	9.1	38.0	1.05	39.9	440	8.0
高瀬川	59.0	28.0	31.0	22.4	18.6	41.0	2.0	52.1	㊧ 1.11	57.8	660	11.2	46.6	1.08	50.3	570	9.7	42.4	1.05	44.5	510	8.6
財田川	155.5	110.0	45.5	88.0	27.3	115.3	3.5	39.0	㊤ 130	50.7	1620	10.4	34.0	1.29	43.9	1410	9.1	30.5	1.28	39.0	1250	8.0
柞田川	53.0	44.0	9.0	35.2	5.4	40.6	2.5	47.0	㊤ 130	61.1	690	13.0	42.0	1.29	54.2	610	11.5	38.0	1.28	48.6	550	10.4

つぎに、解析した香川県内の主要河川の確率高水流量を表-4・3・3は、一覧表として示したものである。

表-4・3・3 香川県主要河川確率高水流量

河 川 名	流域面積	1 0 0 年確率		5 0 年確率		3 0 年確率	
		高水流量	比 流 量	高水流量	比 流 量	高水流量	比 流 量
	km^2	m^3/sec	$m^3/sec/km^2$	m^3/sec	$m^3/sec/km^2$	m^3/sec	$m^3/sec/km^2$
馬 宿 川	20.0	300	15.0	260	13.0	240	12.0
湊 川	51.6	640	12.4	570	11.0	510	9.9
与 田 川	17.0	210	12.4	190	11.2	160	9.4
津 田 川	42.0	370	8.8	310	7.4	270	6.4
鴨 部 川	68.0	630	9.3	550	8.1	490	7.2
新 川	69.0	680	9.9	590	8.6	520	7.5
春 日 川	62.9	640	10.2	560	8.9	490	7.8
香 東 川	114.5	1100	9.6	960	8.4	850	7.4
本 津 川	65.0	640	9.8	570	8.8	520	8.0
綾 川	130.0	1020	7.8	870	6.7	740	5.7
大 束 川	55.1	460	8.3	400	7.3	350	6.4
土 器 川	140.5	1230	8.8	1060	7.5	930	6.6
金 倉 川	55.0	570	10.4	500	9.1	440	8.0
高 瀬 川	59.0	660	11.2	570	9.7	510	8.6
財 田 川	155.5	1620	10.4	1410	9.1	1250	8.0
柞 田 川	53.0	690	13.0	610	11.5	550	10.4

2 計画高水量の考察

合理法を用いた計画高水流量の解析においては、まづ、計画降雨の算定の基になる、洪水到達時間の適確な算定が必要である。

本節における洪水到達時間の算定法には、前節で新しく提案した、Kinematic wave

法と Kraven の値を用いた方法で解析したので、さらに、その合理性を考察するため、香川県の河川について、いわゆる Rziha 式による到達時間の算定を行なった。その解析の過程は、表-4・3・4 に示す。

表-4・3・4 香川県主要河川の Rziha 式による洪水到達時間の解析

河 川 名	流 域 面 積	流 延 路 長	L	H _A	H _B	H _A - H _B	I	I ^{0.6}	W	T
	km ²	km	km	m	m	m			km/hr	hr
馬 宿 川	20.0	7.5	7.0	260	20	240	0.034	0.131	9.4	0.74
湊 川	51.6	17.5	17.0	420	5	415	0.024	0.107	7.7	2.2
与 田 川	17.0	8.0	7.0	220	20	200	0.029	0.120	8.6	0.8
津 田 川	42.0	15.0	14.0	200	3	197	0.014	0.077	5.5	2.5
鴨 部 川	68.0	21.0	20.0	320	3	317	0.016	0.084	6.0	3.3
新 川	69.0	15.0	14.0	300	5	295	0.021	0.099	7.1	2.0
春日川	62.9	13.0	12.0	280	5	275	0.023	0.104	7.5	1.6
香東川	114.5	33.0	32.0	400	0	400	0.013	0.074	5.3	6.0
本津川	65.0	17.0	16.0	150	5	145	0.009	0.059	4.2	3.8
綾 川	130.0	31.0	30.0	440	5	435	0.015	0.081	5.8	5.2
大束川	55.1	15.0	14.0	80	0	80	0.006	0.046	3.3	4.2
土器川	140.5	37.0	36.0	640	0	640	0.018	0.090	6.5	5.5
金倉川	55.0	17.0	16.0	360	30	330	0.021	0.099	7.1	2.3
高瀬川	59.0	15.0	14.0	140	0	140	0.009	0.059	4.2	3.3
財田川	155.5	28.0	27.0	560	5	555	0.021	0.099	7.1	3.8
柞田川	53.0	16.0	15.0	320	3	317	0.021	0.099	7.1	2.1

表-4・3・1、および、表-4・3・4 から考察すると、両解析値の近似する河川は、湊川、新川、金倉川、柞田川などであり、また、その河川の規模は、河川延長が、それぞれ 17.5 km、15.0 km、17.0 km、16.0 km の山地河川である。つぎに、Rziha 式による値が大きくなる河川は、香東川、綾川、土器川などであり、その河川の規模は、河川延長

が、それぞれ 33.0 km 、 31.0 km 、 37.0 km の山地河川である。また、一方、本津川、大東川、高瀬川などの平地河川では、河川延長が、それぞれ 17.0 km 、 15.0 km 、 15.0 km であっても、Rziha 式による値が大きくなっている。つぎに、Rziha 式による値が小さくなる河川は、馬宿川、与田川などであり、その河川の規模は、河川延長が 7.5 km 、 8.0 km の山地河川である。

したがって、わが国において、従来から適用されてきた、いわゆる Rziha 式による方法は、河川延長が 15 km 前後の山地河川に適合性があり、河川延長が短少になると、その値が小さく、また、河川延長が長大になると、その値が大きくなることが明らかとなった。

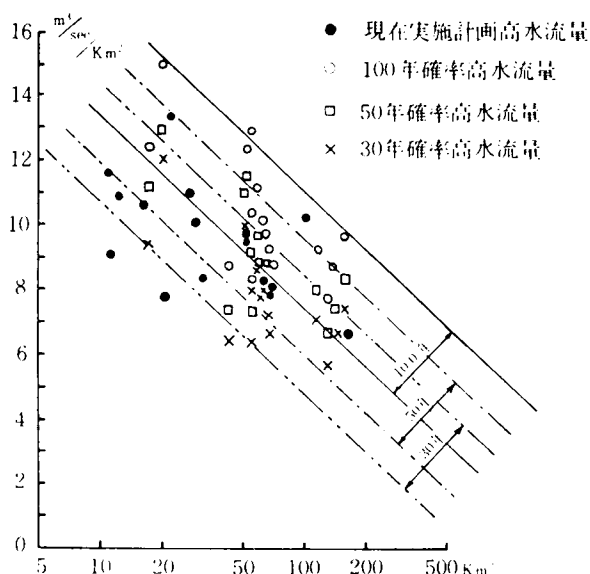
以上のことから、洪水到達時間の算定法については、理論的考察にもとづいて提案した算定法は、すなわち、流入時間の算定は、Kinematic wave 法、河道流下時間の算定は、Kraven の値を用い、その両者を加えたものを洪水到達時間とすることが、現在的水文資料の存在状況からして、適切な算定法であることを示しているといえよう。

つぎに、これら解析した 100 年、50 年、30 年確率高水流量については、つぎの図-4・3・1 に、香川県主要河川比流量図として示し、また、一方、香川県において治水事業を実施している河川の計画高水量、および、比流量も参考として図示した。

現在、実施している河川の改修規模は、中小河川改修事業が、ほとんど 50 年確率高水流量をとり、小規模河川改修事業、河川局部改修事業が 30 年確率高水流量を採用している。

図-4・3・1 香川県主要河川の比流量

すなわち、中小河川治水計画の基本高水となる計画高水流量の解析については、その算定法には合理法、洪水到達時間の算定には、新しく提案した Kinematic wave 法と Kraven の値を用いた方法、計画降雨には、中時間確率降雨強度式、および、その曲線を用いて解析すると、解析手法が非常に容易に、また、合理的な解析ができる。



第4節 計画ハイドログラフの解析法

いままでに論じてきたごとく、河川の治水計画策定には、まず、計画基準地点の基本高水の設定をしなければならない。この基本高水には、ピーク流量のみを必要とする場合は、前節で論述してきた、計画高水流量のみを算定すればよいが、洪水調節計画、ポンプ排水計画などの場合には、計画ハイドログラフの解析も必要となる。

現在、わが国において、実用されている計画ハイドログラフの解析法には、単位図法、流出関数法、貯溜関数法、および、特性曲線法などがある。

しかしながら、本研究においては、中小河川の治水計画策定のための計画ハイドログラフの解析法について、研究することが目的であるため、とくに、中小河川は、水文資料も少ないので、流域特性のみから、容易に解析のできる、中安総合単位図法と近年、水理学的に発展をしている、Kinematic Wave 法について論述する。

1 単位図法

① 単位図法の基本概念

単位図法は、計画ハイドログラフの解析手法の第1にあげられるもので、1932年、L. K. Sherman によって、提案されたもので、その基本概念は、つぎの3つの仮定に基づいている。

- ① 同一の流域では、同じ有効降雨に対して、常に、同一波形の流出を生ずる。
- ② 有効雨量の強度が変化しても、流出量の時間的配分の割合は、変化しない。また、ハイドログラフの縦距は、降雨強度に比例する。
- ③ 長い継続時間の有効降雨による流出は、単位時間に分割した有効降雨の、それぞれに対する流出を算術的に加算したものに等しい。

実際現象においては、上記の仮定は、完全に、満足されるものではなく、ある程度の誤差を伴うが、この誤差は、割合に小さいものと考えられ、実用上は、許容できるものとしている。

わが国における単位図の研究には、わが国の河川の流出事情に合うように工夫した、中安の方法³³⁾、および、立神の方法³⁵⁾がある。立神の方法は、数多くの洪水観測から初期損失雨量、その他のデーターを導き、単位図を作成するが、中安の方法は、単位時間として出水の遅れ t_g を採用し、中国四国の河川から t_g を算出する経験

式，また，損失雨量についても，多くの観測を行って，損失曲線を提案している。
したがって，中安の方法は，流量資料の乏しい中小河川の場合，その流域特性のみから，単位図が簡単に作成することができる利点があるので，本研究においては，中安総合単位図法について論究することにした。

さて，中安の総合単位図法については，その単位図の形を規定するものとして，ピーク流量 Q_{\max} とピーク到達時間 T_1 ，および，減水定数 K などがあげられる。ここに， T_1 ，および， K は，降雨特性よりも，むしろ，流域特性によって規定することができるものと考え，これらを流域特性の関数として表わし，過去の流量資料が全くない場合においても，単位図が作製できるように，わが国，各河川の値から，つぎのような特性値を与えた。

$$\text{ピーク流量 } Q_{\max} = 0.2778 \frac{AR_o}{0.3T_1 + T_{0.3}} \quad \text{-----} (4.4.1)$$

$$\text{上昇曲線} \quad \frac{Q_a}{Q_{\max}} = \left(\frac{t}{T_1}\right)^{2.4} \quad \text{-----} (4.4.2)$$

$$\text{減水曲線} \quad \frac{Q_d}{Q_{\max}} \geq 0.3 \quad \frac{Q_d}{Q_{\max}} = 0.3 \left(\frac{t-T_1}{T_{0.3}}\right) \quad \text{-----} (4.4.3)$$

$$0.3 \geq \frac{Q_d}{Q_{\max}} \geq 0.3^2 \quad \frac{Q_d}{0.3Q_{\max}} = 0.3 \left\{ \frac{t-(T_1+T_{0.3})}{1.5T_{0.3}} \right\} \quad \text{-----} (4.4.4)$$

$$0.3^2 \geq \frac{Q_d}{Q_{\max}} \quad \frac{Q_d}{0.3^2 Q_{\max}} = 0.3 \left\{ \frac{t-(T_1+T_{0.3}+15T_{0.3})}{3T_{0.3}} \right\} \quad \text{-----} (4.4.5)$$

ここに， Q_{\max} は，単位時間 t_r (hr)，有効雨量 R_o (mm) によるピーク流量 (m^3/sec)， Q_a ， Q_d は，上昇と減水時の流量 (m^3/sec)， T_1 は，ピーク到達時間 (hr)， $T_{0.3}$ は， Q_{\max} が $0.3Q_{\max}$ になる時間 (hr)，

つぎに，出水の遅れ t_g ，単位時間 t_r ，減水時間 $T_{0.3}$ については，流路延長，流域形状，地勢，勾配，降雨強度，流速などの複雑な関数となるが，中安は，河川の最大流路長を L (km) として，つぎの式が成立するものとした。

$$L < 15 \text{ km のとき} \quad t_g = 0.21 L^{0.7} \quad \text{-----} (4.4.6)$$

$$L > 15 \text{ km} \text{ のとき } t_g = 0.4 + 0.058 L \text{ ----- (4.4.7)}$$

また、 $T_{0.3}$ の値については、

出水の出が遅く、引きの早い河川に対して、

$$T_{0.3} = 1.5 t_g \text{ ----- (4.4.8)}$$

出水の出が早く、引きの遅い河川に対して、

$$T_{0.3} = 3.0 t_g \text{ ----- (4.4.9)}$$

その中間の河川に対して、 $T_{0.3} = 2.0 t_g \text{ ----- (4.4.10)}$

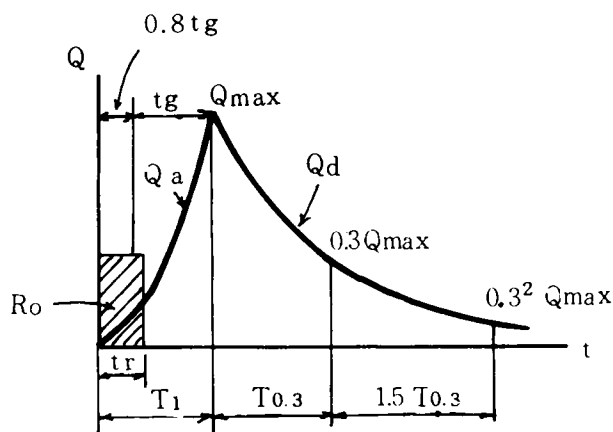
で与えられるとした。さらに、単位時間 t_r 、および、ピーク到達時間 T_1 の算定は、つぎの式で求める。

$$T_1 = t_g + 0.8 t_r \text{ ----- (4.4.11)}$$

$$t_r = (0.5 \sim 1.0) t_g \text{ ----- (4.4.12)}$$

したがって、求める単位図は、これらの地域特性の計算値から図-4.4.1に示したような単位図として解析することができる。

図-4.4.1 中安の総合単位図



なお、中安の総合単位図法を適用した計画ハイドログラフの解析法とは、本節において、論述した単位図に、確率ハイトグラフを計画降雨として適用し、解析する方法である。

もちろん、本研究においては、中小河川の治水計画、基本高水の計画ハイドログラフの解析が対象であるから、計画降雨として採用する確率ハイトグラフは、第3章において、提案した中時間確率ハイトグラフを適用するものである。

⑤ 有効降雨量の算定

洪水流出解析においては、いかに優れた流出計算法であり、また、いかに、厳密な追跡手法による計算法であっても、それに適用する有効降雨量の推定が、適切なものでなければ、労多くして、効少なしとなる。洪水時における降雨損失量の実態については、多くの研究がなされているが、いまだに、多くの問題点を内包している。ただ、その損失量は、洪水の初期に多く、時間経過とともに、降雨量にしたがいつつ減少することは確かである。したがって、流出解析に適用する有効降雨量の算出手法は、このような降雨損失の実態に即した方法を用いる必要がある。

本節では、計画有効降雨について、以下のような考えをとっている。すなわち、第3章において、提案した中時間降雨の確率ハイレートグラフを適用し、損失雨量に関しては、中安は、中国四国の河川について研究したものであり、また、その数値は、地形、地質などの素因により変化するが、このことは、今後検討することとし、ここでは、中安の観測研究結果である損失曲線を用い、その両者の差を計画有効降雨とすることにした。

すなわち、中安^{21) 33)}は、多くの降雨について、その損失雨量を観測し、つぎの結果をえた。

① 前期降雨のある場合については、連続降雨（ハイレートグラフ）の始めに20mmを加算して、損失雨量を解析する。

② 前期降雨がない場合については、雨量が100mm以上になると、損失雨量は、一定となり増加しない。

総雨量を R mm、損失雨量を R_ℓ mm、流出係数を C とすると、

$$\left. \begin{aligned} R_\ell &= 60 \sim 70 \text{ mm} \rightarrow 64 \text{ mm} \\ C &= \frac{(R - R_\ell)}{R} = \frac{(R - 64)}{R} \end{aligned} \right\} \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 13)$$

また、100mm以下の場合は、充分な観測値がないので、農林省高島試験地の結果を用いて、

$$\left. \begin{aligned} C &= a R^b \\ R_\ell &= R - C R = R - a R^{b+1} \end{aligned} \right\} \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 14)$$

ここに、 a 、 b は、定数である。

定数 a , b は, 式 (4・4・14) が, $R = 100 \text{ mm}$ において, 式 (4・4・13) に接することから

$$\left. \begin{aligned} C &= 3.6 \times 10^{-4} R^{1.5} \\ R_{\ell} &= R (1 - 3.6 \times 10^{-4} R^{1.5}) \end{aligned} \right\} \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 15)$$

となる。

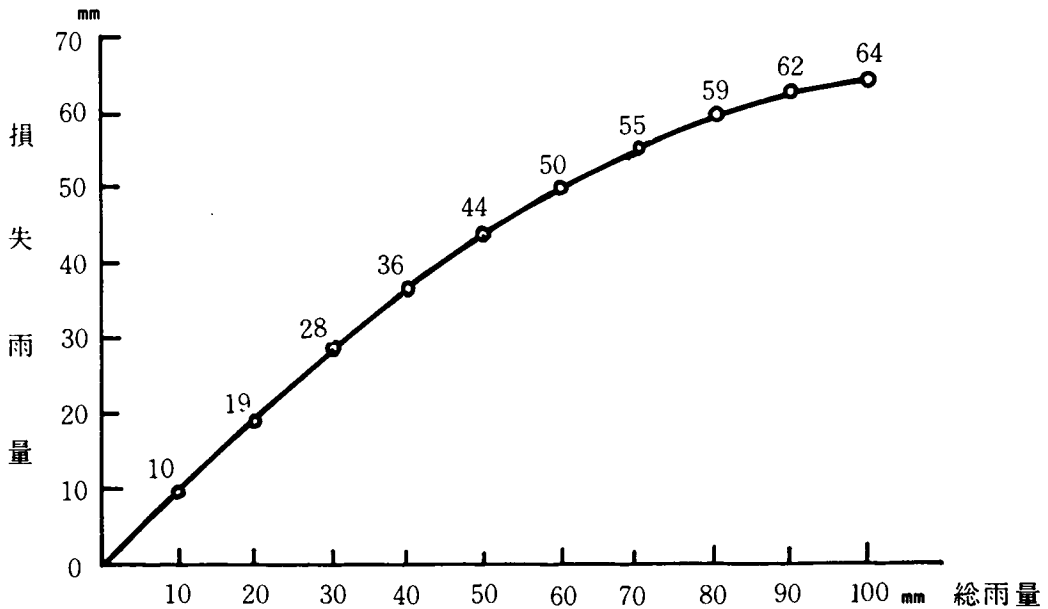
すなわち, 降雨量 $R \text{ mm}$ に対する損失雨量 $R_{\ell} \text{ mm}$ は, 式 (4・4・15) を用いて算出されるが, その解析値は, 表-4・4・1 に示すことにした。

表-4・4・1 総雨量に対する損失雨量 単位 mm

R	$R^{1.5}$	$0.00036R^{1.5}$	$1 - 0.00036R^{1.5}$	R_{ℓ}
10	31.6	0.01	0.99	9.9
20	89.4	0.03	0.97	19.4
30	164.3	0.06	0.94	28.3
40	253.0	0.09	0.91	36.4
50	353.6	0.13	0.87	43.6
60	464.8	0.17	0.83	50.0
70	585.7	0.21	0.79	55.2
80	715.5	0.26	0.74	59.4
90	853.8	0.31	0.69	62.3
100	1000.0	0.36	0.64	64.0

また, この関係を図に表わした損失雨量曲線については, 図-4・4・2 に示すことにした。

図 - 4・4・2 損失雨量曲線



2 Kinematic wave 法

Kinematic wave 法による流出解析は、岩垣³⁸⁾らによって始められ、石原、高棹らによって発展させられてきたもので、近年、急速に用いられている解析法である。この解析法においては、流出を降雨と流出の2面からだけでとらえるのではなく、流出の内部機構にまで立ち入って、流出量を水理学的に算定する解析法である。

すなわち、この解析法は、山地流域が、山腹斜面と河谷から形成され、勾配も、かなり急である点に着目し、流れの抵抗と重力の合力との釣り合い関係から、運動方程式を誘導し、また、これと連続方程式を適用し、山腹斜面の特性が一様であるような流域を単位に、雨水量を不定流として追跡する方法である。

雨水流を不定流と考えた場合の追跡基礎方程式は、つぎの2式となる。

運動式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \alpha u \frac{\partial u}{\partial x} - (\alpha - 1) \frac{u}{A} \frac{\partial A}{\partial t} + g \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} = g \sin \theta - \frac{\tau_0}{\rho R} - \frac{\alpha u q}{A} \left(1 - \frac{u_0}{\alpha u} \right) \quad \text{----- (4・4・16)}$$

連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 17)$$

ここに、 q ：流路の単位長さ当りの横からの流入量

u ：平均流速

A ：流水断面積

h ：水深， R ：経深， Q ：流量

α ：運動量の流速分布に対する補正係数

θ ：水路の傾斜角， ρ ：水の密度

τ_0 ：底面の摩擦応力， g ：重力の加速度

x ：距離， t ：時間 である。

これらの式は、厳密に解くことができるが、計算が非常に面倒となり、実用的ではないので、石原、高棹らは、実際現象に十分対応するよう、これを近似的に解く方法を展開している。

いま、流入量が一様で、流路勾配が比較的、急な場合を考え、流れが等流に近いものと仮定して、抵抗法則に manning の抵抗則が適用できるとすると、摩擦項は、

$$\frac{\tau_0}{\rho R} = n^2 g u^2 / R^{4/3} \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 18)$$

で与えられ、最終的に、つぎの2組の連立方程式が得られる。

山腹斜面については、

$$\text{運動方程式} \quad h = K_0 q^{P_0} \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 19)$$

$$\text{連続方程式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r(t) - f_i(t) \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 20)$$

河道については、

$$\text{運動方程式} \quad A = K_c Q^{P_c} \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 21)$$

$$\text{連続方程式} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(t) \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 22)$$

ここに、 h ：水深， q ：山腹を流下する流量， $r(t)$ ：降雨強度， $f_i(t)$ ：浸透度

A ：流水断面積， Q ：河道を流下する流量， t ：時間， x ：距離

以上が Kinematic wave 法による洪水流出解析の基礎式である。この Kinematic wave 法の図解法に末石、上田らの研究がある。

³⁹⁾ 末石は、前述の雨水追跡計算について、特性曲線の方程式に、その河川の流域特性などを与えた標準特性曲線の対数図表を描き、図解的に各時刻の流出を求める方法を提案した。本節においては、末石の標準特性曲線による図解法を採用した。なぜならば、この方法は、等雨量線、等距離線、および、等流入量線、等距離線を用いているので、解析が忠実で、かつ、各時刻に対する雨水の流出状況が図上で把握でき、また、電卓を用いた計算の実行は、実用性が十分あると考えたからである。さて、山腹斜面についての標準特性流量曲線については、つぎの式で求めることができる。

$$\frac{dh}{dt} = r \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 23)$$

$$\frac{dq}{dx} = r \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 24)$$

$$h = K_0 q^{P_0} \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 25)$$

式(4・4・19)と式(4・4・23)より、

$$t = \frac{K_0 q^{P_0}}{r}$$

これを対数変換すると、

$$\log t = \log K_0 - \log r + P_0 \log q \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 26)$$

また、式(4・4・23)と式(4・4・24)より、

$$t = \frac{K_0 r^{P_0} x^{P_0}}{r} = K_0 x (r \cdot x)^{P_0-1}$$

これを対数変換すると、

$$\log t = \log K_0 + \log x + (P_0 - 1) \log r \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 27)$$

また、河道の標準特性流量曲線についても、つぎの式で求めることができる。

$$\frac{dA}{dt} = q \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 28)$$

$$\frac{dQ}{dx} = q \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 29)$$

$$A = K_c Q^{P_c}$$

式(4・4・21)と式(4・4・28)より,

$$t = \frac{K_c Q^{P_c}}{q}$$

これを対数変換して,

$$\log t = \log K_c - \log q + P_c \log Q \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 30)$$

式(4・4・28)と式(4・4・29)より,

$$t = \frac{K_c q^{P_c} x^{P_c}}{q} = K_c x \cdot (qx)^{P_c-1}$$

$$\log t = \log K_c + \log x + (P_c-1) \log Q \quad \text{-----} (4 \cdot 4 \cdot 31)$$

ここに,

$$K_o = \left(\frac{N}{\sqrt{\sin \theta_o}} \right)^{P_o}, \quad P_o = \frac{3}{5}$$

$$K_c = \left\{ \frac{n}{\sqrt{\sin \theta_c}} \cdot K_1^{\frac{2}{3}} \right\}^{P_c}, \quad P_c = \frac{3}{2Z+3}$$

K_1 : Z は, 経深を $R = K_1 A^Z$ としたときの値

θ_o : 山腹斜面勾配

θ_c : 河道の勾配

N : 山腹斜面の等価粗度

n : 河道の粗度 である。

したがって, 標準特性流量曲線の対数図表については, 山腹と河道について, それぞれ, 式(4・4・26), 式(4・4・27)の関係と 式(4・4・30), 式(4・4・31)の関係を2枚の両面对数紙に縦軸に t , 横軸に q , または, Q としてプロットし, それぞれを特性曲線群でおおって作成することができる。

さらに, 確率ハイドログラフの解析については, この特性流量曲線に, 第3章において提案した中時間確率有効ハエトグラフを計画降雨として適用すると, 有効, かつ, 適切な解析をすることができる。

第5節 香川県内代表河川の計画ハイドログラフの解析と考察

1 単位図法による解析と考察

本節においては、中小河川の計画ハイドログラフの解析が目的であるので、香川県の主要河川のうちから、流域面積が50km²級の河川として湊川、100km²級の河川として香東川、また、150km²級の河川として土器川を選び、それらの重要性を考え、100年確率ハイドログラフを、中安の総合単位図法、および、100年確率有効ハエトグラフから算出した。

② 湊川100年確率ハイドログラフ

湊川は、香川県東部の産業経済の中心地、白鳥町内を貫流しており、東部の重要な河川である。また、この河川の水源は、讃岐山脈の東女体山（標高667m）、檀特山（630m）、および、笠ヶ峰（560m）に発し、流域面積51.6km²、流路延長17.5kmで瀬戸内海に流入している急流河川である。

この河川は、従来、水災害が頻発していた河川であり、とくに、昭和28年の台風13号のとき、沿岸流域は、大水害に見舞われ、県においては、この治水対策として、わが国初めての防災ダムによる治水計画を策定、昭和31年度に、洪水調節のみの防災ダム（五名ダム）を完成させた河川である。

本節においては、湊川河口地点の100年確率ハイドログラフを中安の総合単位図法を用いて再検討することにした。

まず、単位図については、式(4.4.1)から、式(4.4.12)までの式を適用して、以下のように解析した。

流域面積 $A = 51.6 \text{ km}^2$ 、 流路延長 $L = 17.5 \text{ km}$

であるから、出水の遅れ t_g は、式(4.4.7)より、

$$t_g = 0.4 + 0.058L = 1.5 \text{ hr}$$

単位時間は、 $t_r = t_g = 1.5 \text{ hr}$ を採用し、ピーク到達時間 T_1 は、式(4.4.11)より、 $T_1 = t_g + 0.8 t_r = 2.7 \text{ hr}$ で与えられる。

つぎに、 $T_{0.3}$ の値は、急流河川であるから式(4.4.8)より、

$T_{0.3} = 1.5 t_g = 2.3 \text{ hr}$ となり、ピーク流量 Q_{\max} は、 $R_0 = 1 \text{ mm}$ として、式(4.4.1)より、

$$Q_{\max} = 0.2778 \frac{AR_o}{0.3T_1 + T_{0.3}} = 0.2778 \frac{51.6}{3.1} = 4.61 \text{ m}^3/\text{sec}$$

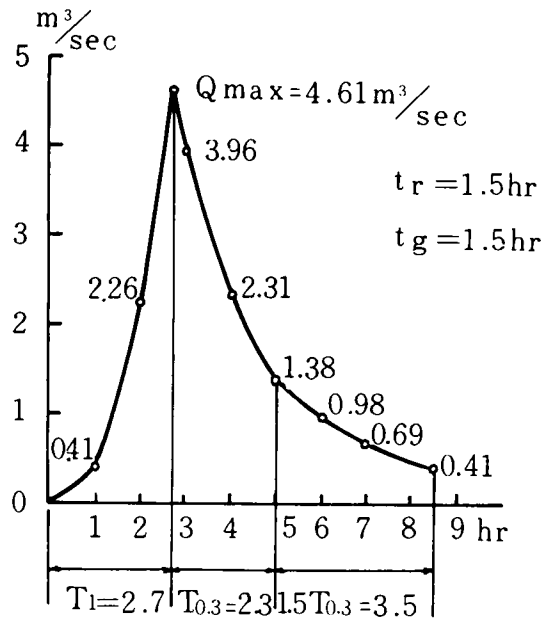
と算出された。

つぎに、単位図の上昇曲線，減水曲線の解析については，式（４・４・２）から，式（４・４・５）の式を用いて解析し，その結果は，表－４・５・１に示し，また，これから作製した単位図は，図－４・５・１に示すことにした。

表－４・５・１ 湊川の単位図の解析

t	Q _{max}	$\frac{t}{2.7}$	$\frac{Q_a}{Q_{\max}} = \left(\frac{t}{2.7}\right)^{2.4}$	Q _a
0	4.61 ^{m³/sec}	0	0	0 ^{m³/sec}
1.0	〃	0.37	0.09	0.41
2.0	〃	0.74	0.49	2.26
2.7	〃	1.00	1.00	4.61
t	Q _{max}	$\frac{t-2.7}{2.3}$	$\frac{Q_d}{Q_{\max}} = 0.3 \left(\frac{t-2.7}{2.3}\right)$	Q _d
3.0	4.61	0.13	0.86	3.96
4.0	〃	0.57	0.50	2.31
5.0	〃	1.00	0.30	1.38
t	Q _{max}	$\frac{t-5.0}{3.5}$	$\frac{Q_d}{0.3Q_{\max}} = 0.3 \left(\frac{t-5.0}{3.5}\right)$	Q _d
6.0	4.61	0.29	0.71	0.98
7.0	〃	0.57	0.50	0.69
8.5	〃	1.00	0.30	0.41

図 - 4・5・1 湊川の単位図



つぎに、計画降雨については、流域の大部分が急峻な山地であり、降雨特性が、塩江と類似しているので、高松の中時間確率ハイエトグラフから解析した、塩江の中時間100年確率ハイエトグラフを採用し、また、有効降雨量の算定は、前述の中安の損失曲線を用いて算出した。

表 - 4・5・2，表 - 4・5・3，および、図 - 4・5・2 は、塩江100年確率有効ハイエトグラフの解析の結果である。

表-4・5・2 塩江の100年確率ハイトグラフの降雨量

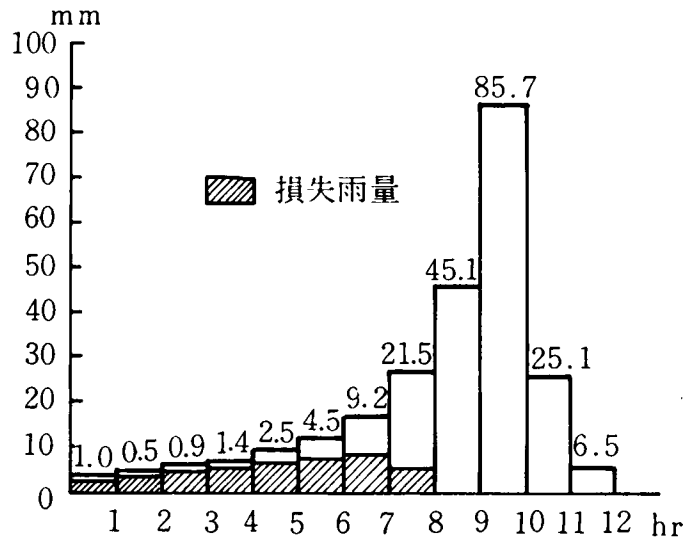
単位 $\frac{mm}{hr}$

時間(hr)	高松100年 確率降雨量	塩江100年確率	
		補正係数	降雨量
1.0	3.0	1.30	3.9
2.0	3.3	〃	4.3
3.0	4.4	〃	5.7
4.0	5.2	〃	6.8
5.0	7.0	〃	9.1
6.0	9.2	〃	12.0
7.0	13.3	〃	17.3
8.0	20.3	〃	26.4
9.0	34.7	〃	45.1
10.0	65.9	〃	85.7
11.0	19.3	〃	25.1
12.0	5.0	〃	6.5

表-4・5・3 塩江100年確率有効ハイトグラフの解析

時 間	時間雨量	総雨量	前期20 mmを加えた総雨量	損失雨量	有 効 総雨量	有 効 時間雨量
hr	$\frac{mm}{hr}$	mm	mm	mm	mm	$\frac{mm}{hr}$
1.0	3.9	3.9	23.9	22.9	1.0	1.0
2.0	4.3	8.2	28.2	26.7	1.5	0.5
3.0	5.7	13.9	33.9	31.5	2.4	0.9
4.0	6.8	20.7	40.7	36.9	3.8	1.4
5.0	9.1	29.8	49.8	43.5	6.3	2.5
6.0	12.0	41.8	61.8	51.0	10.8	4.5
7.0	17.3	59.1	79.1	59.1	20.0	9.2
8.0	26.4	85.5	105.5	64.0	41.5	21.5
9.0	45.1	130.6	—	—	—	45.1
10.0	85.7	216.3	—	—	—	85.7
11.0	25.1	241.4	—	—	—	25.1
12.0	6.5	247.9	—	—	—	6.5

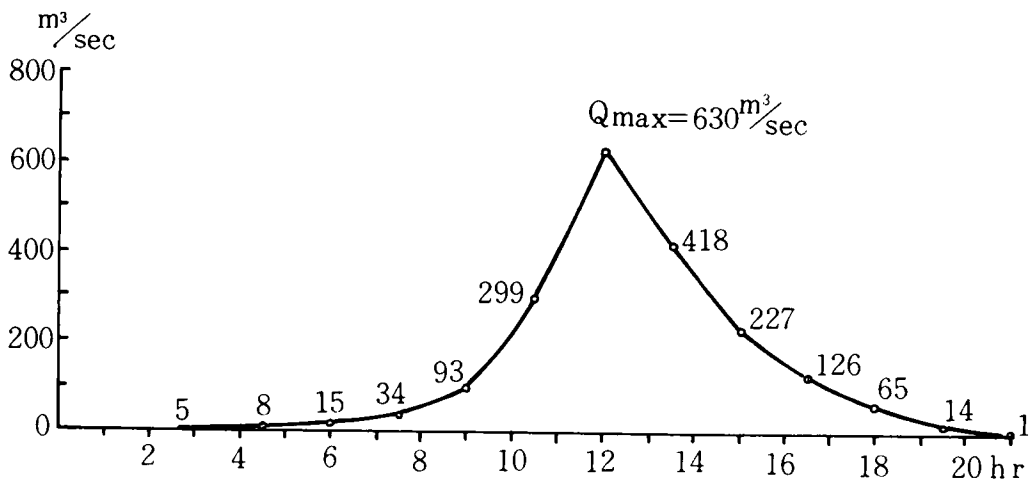
図-4・5・2 塩江100年確率有効ハイトグラフ



つぎに、適用する計画降雨は、この塩江の100年確率有効ハイトグラフ（図-4・5・2）を基に単位時間が1.5時間における降雨強度を採用した。

以上の解析手順をふまえると、その結果として、計画ハイドログラフが得られ、これを図示したものが、図-4・5・3である。この図-4・5・3が、湊川100年確率ハイドログラフであり、湊川の治水計画の基本高水となるものである。

図-4・5・3 湊川100年確率ハイドログラフ



⑥ 香東川100年確率ハイドログラフ

香東川は、香川県の中央部の産業、経済の中心、香川平野を貫流し、昔、河口部で高松市内に流下していたものを、寛永年間、ときの藩主の命により、西島八兵衛が、市の西部に付け替えの大工事をした河川であり、香川県においては、治水、利水両面において、非常に重要な河川である。

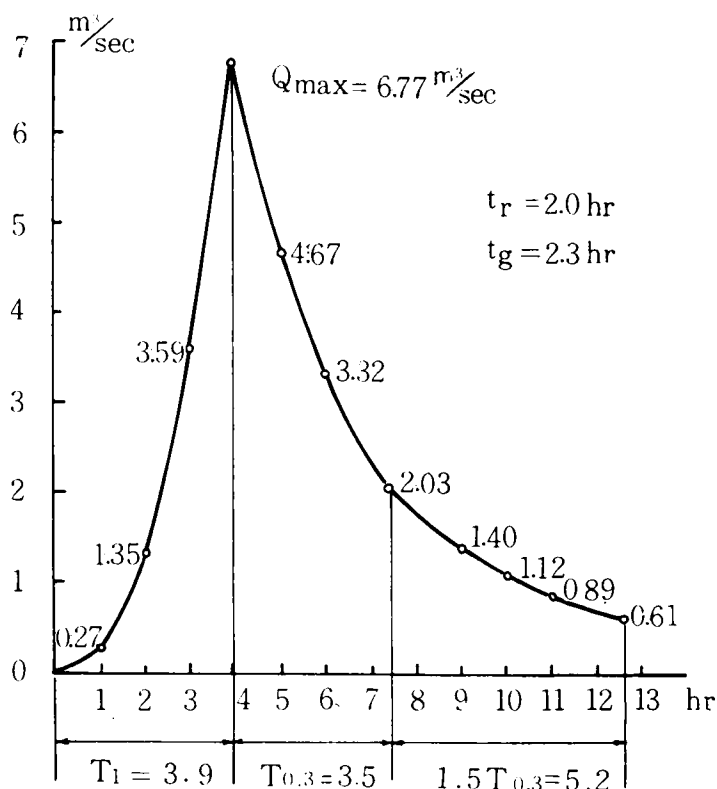
この香東川は、讃岐山脈の最高峰、竜王山（標高1,060m）、大滝山（948m）に水源を発し、流域面積114.5km²、流路延長33.0kmで、瀬戸内海に流入している急流河川である。

香川県においては、この河川の治水対策として、多目的ダム建設の前身である、河水統制事業が、昭和13年、国費として予算化した当時、わが国のトップをきって、多目的ダム（内場ダム）の事業に着手、戦時中は、一時、工事中止となっていたが、昭和27年度に、全国に先がけて完成させた河川である。

本節においては、香東川河口地点の100年確率ハイドログラフを中安の総合単位図法を用い

て再検討することにした。そして、その解析の過程については、湊川の場合と同じであるから、省略し、解析結果である香東川の単位図については、図-4・5・4に示すことにした。また、そのとき用い

図-4・5・4 香東川の単位図

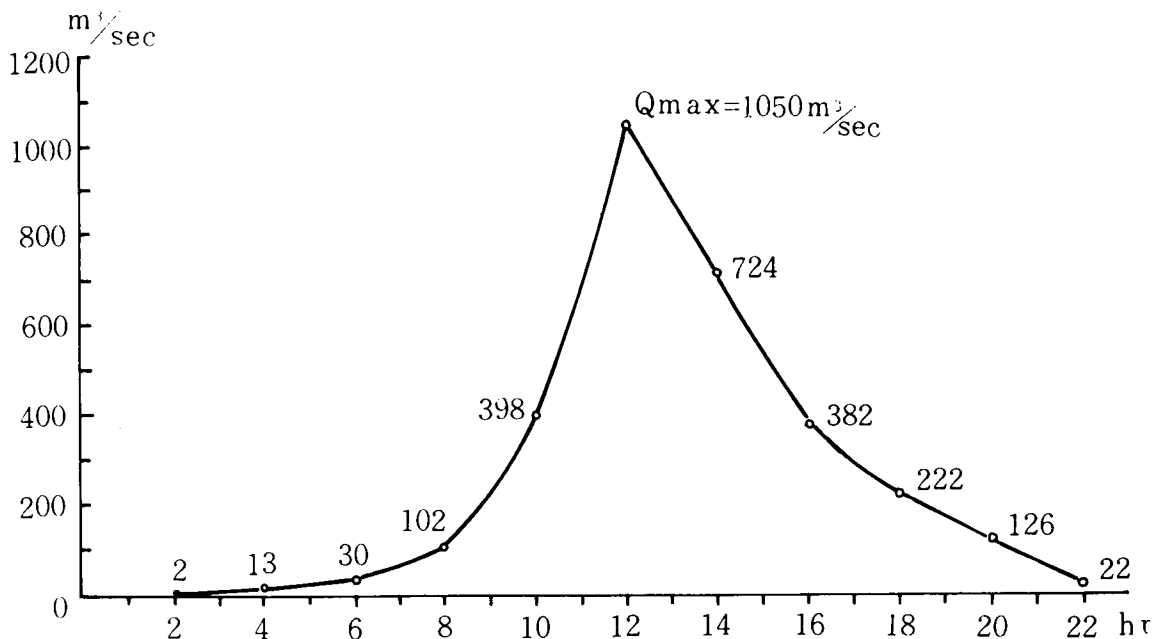


た諸元は、流域面積 $A = 114.5 \text{ km}^2$ ，流路延長 $L = 33.0 \text{ km}$ ，出水の遅れ $t_g = 2.3 \text{ hr}$ ，単位時間 $t_r = 2.0 \text{ hr}$ ，ピーク到達時間 $T_1 = 3.9 \text{ hr}$ ， $T_{0.3} = 3.5 \text{ hr}$ ，ピーク流量 $Q_{\max} = 6.77 \text{ m}^3/\text{sec}$ である。

つぎに、解析に適用した計画降雨は、図-4.5.2 の塩江100年確率有効ハイドログラフを基に、単位時間が2.0時間における降雨強度を採用した。

以上の解析手順をふまえると、その結果として、図-4.5.5 に示す、ハイドログラフが得られた。この図-4.5.5 が、香東川100年確率ハイドログラフであり、香東川の治水計画の基本高水となるものである。

図-4.5.5 香東川100年確率ハイドログラフ



◎ 土器川100年確率ハイドログラフ

土器川は、香川県西部の産業、経済の中心である讃岐平野を貫流、河口部において丸亀市の東部に流下している。そして、香川県では、唯一の一級河川で、流域面積がもっとも広く、非常に重要な河川である。

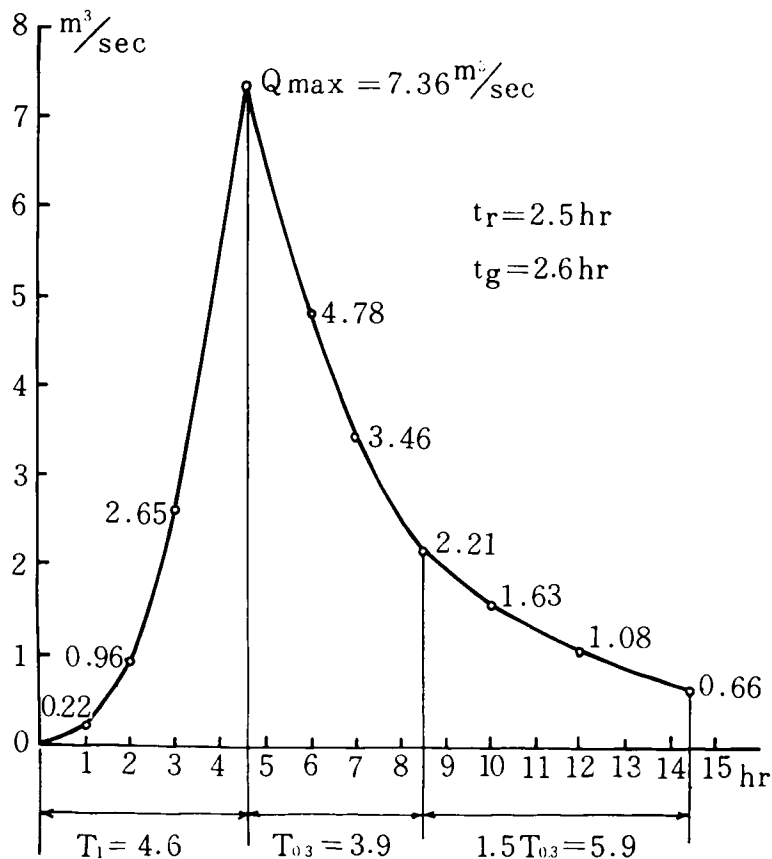
この土器川は、讃岐山脈の最高峰、竜王山（標高1,060m）、大川山（1,043m）に水源を発し、流域面積140.5 km^2 ，流路延長37.0 km で瀬戸内海に流入している

急流河川でもある。

なお、この河川の水害状況については、丸亀市史、香川県通史などをみると、その惨事が繰返されていることを知ることができる。香川県においては、この河川の治水対策として、昭和25年度から中小河川改修事業として改修に着工し、昭和43年度、一級河川に指定され、現在は、建設省直轄改修事業として、改修の促進が図られている河川である。

本節においては、土器川の河口地点の100年確率ハイドログラフを中安の総合単位図法を用いて再検討することにした。そして、この解析に用いた諸元は、流域面積 $A = 140.5 \text{ km}^2$ ，流路延長 $L = 37.0 \text{ km}$ ，出水の遅れ $t_g = 2.6 \text{ hr}$ ，単位時間 $t_r = 2.5 \text{ hr}$ ，ピーク到達時間 $T_1 = 4.6 \text{ hr}$ ， $T_{0.3} = 3.9 \text{ hr}$ ，ピーク流量 $Q_{\max} = 7.36 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、また、解析した単位図は、図-4・5・6に示すことにした。

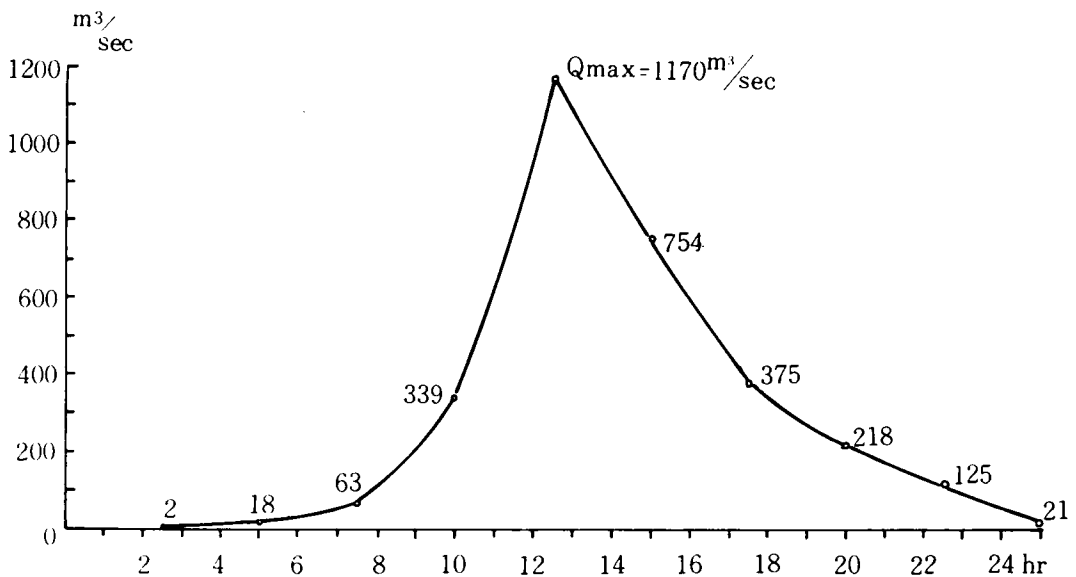
図-4・5・6 土器川の単位図



つぎに、解析に用いた計画降雨は、同じく塩江100年確率有効ハイエトグラフを基に、単位時間が、2.5時間における降雨強度を採用した。

図-4・5・7は、求める土器川100年確率ハイドログラフであり、土器川の治水計画の基本高水となるものである。

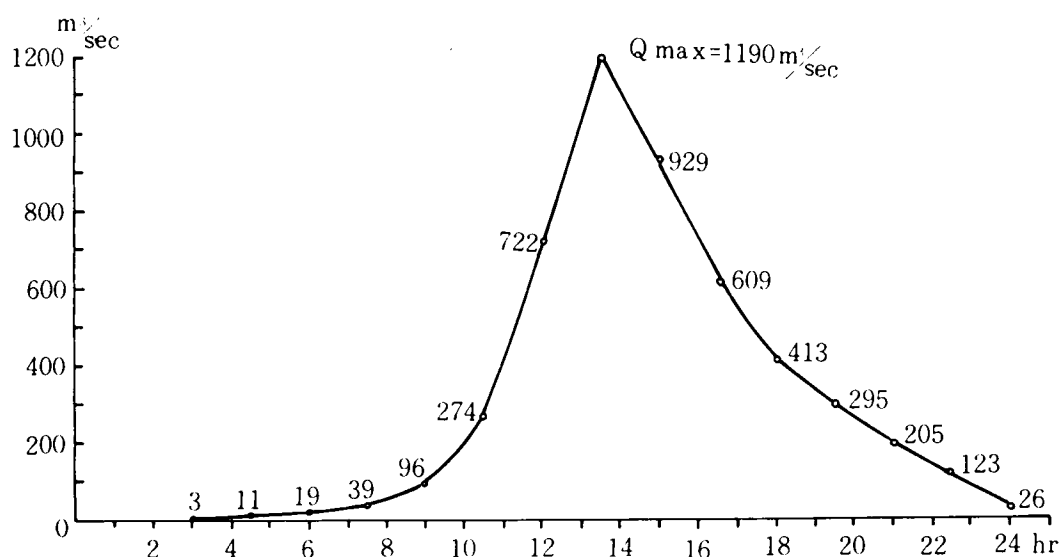
図-4・5・7 土器川100年確率ハイドログラフ ($t_r = 2.5 \text{ hr}$ のとき)



ところで、土器川の単位図法による解析については、その出水時間の遅れ t_g が2.6時間となるので、解析に採用する降雨の単位時間は、2.5時間を採用する場合と1.5時間を採用する場合とが考えられる。したがって、ここでは、さらに、単位時間 t_r を1.5時間として解析した場合の結果を図-4・5・8に示す。

これら両解析の結果を比較、考察すると、土器川100年確率ハイドログラフのピーク流量は、単位時間が2.5時間のとき $1,170 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、単位時間が1.5時間のとき $1,190 \text{ m}^3/\text{sec}$ となり、単位時間を小さく分割すると、わずかに、ピーク流量が大きい値となることが判明した。しかしながら、これら値の差は、2%位のわずかなもので、解析の結果には、さほど支障がなく、また、中安が論じているごとく、単位時間の決定は、 $t_r = (0.5 \sim 1.0) t_g$ としてよいことを示している。

図-4・5・8 土器川100年確率ハイドログラフ ($t_r = 1.5 \text{ hr}$)



④ 解析結果の考察

中安の総合単位図法を用いた計画ハイドログラフの解析を香川県内の河川に適用し、流域面積が50km²級の河川として湊川、100km²級の河川として香東川、150km²級の河川として土器川を選び、それぞれの河川の河口地点における、100年確率ハイドログラフを解析した。

その結果、湊川においては、そのピーク流量は、 $630 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、香東川においては、 $1,050 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、土器川においては、 $1,170 \sim 1,190 \text{ m}^3/\text{sec}$ を得た。ところで、このピーク流量に関する合理法を用いた100年確率高水流量は、湊川においては、 $640 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、香東川においては、 $1,100 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、土器川においては、 $1,230 \text{ m}^3/\text{sec}$ であった。この両値を比較すると、その値は、すべて、きわめて、近い値となり、その偏差でみると、湊川においては、2%、香東川においては、5%、土器川においては、5～3%となった。また、土器川においては、建設省が洪水時の流量測定³⁷⁾を実施しており、最近の出水、昭和47年9月16日、昭和50年8月23日の実測のハイドログラフとも、洪水継続時間、および、流出状況において、よく近

似することを確認した。

このようにみえてくると、中小河川の治水計画においては、中安の総合単位図法に、本研究において提案した中時間降雨の確率ハイトグラフを適用した計画ハイドログラフの解析法は、合理的、かつ、適切な解析法であるといえる。また、解析中の単位時間の採用については、土器川における出水の遅れが、2.6時間であったので、単位時間は、2.5時間と1.5時間に分けて、それぞれ考察を行なったが、降雨の採用する単位時間については、出水の遅れの(0.5~1.0)倍の範囲であれば、いかなる値の時間を用いても、解析結果には、大きい相異はなく、単位時間が短くなると、わずかに、解析値が大きくなるにすぎないことも判明した。

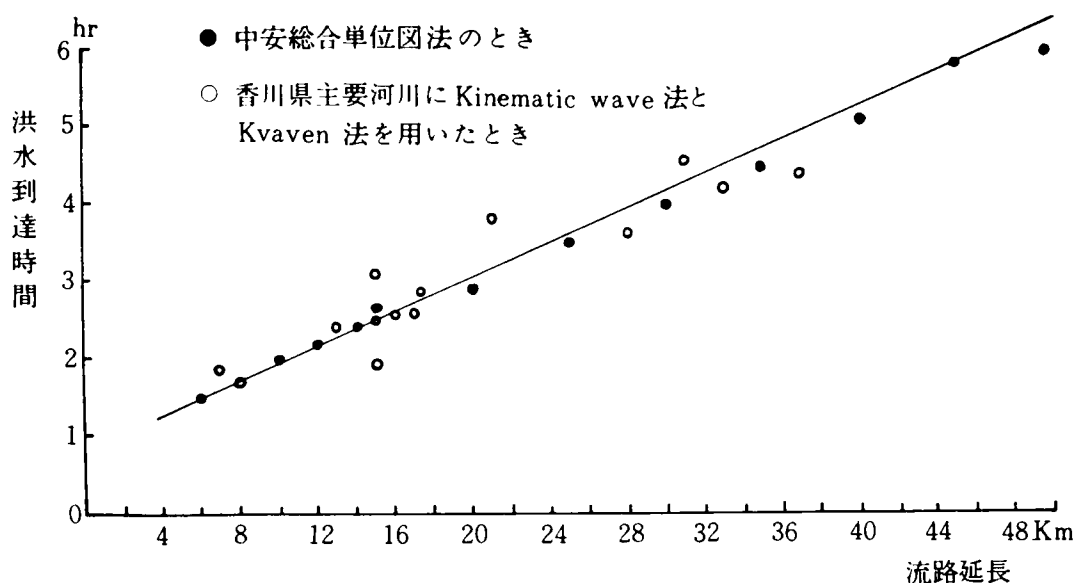
また、中安の総合単位図のピーク流量になるまでの時間 T_1 ，すなわち、洪水流量の上昇時間と河川流路延長との関係について考察し、表-4・5・4に示すとき関係があることを明らかにした。一方、本研究において、新しく提案した、河川流路延長と洪水到達時間の関係については、すでに、香川県の主要河川の洪水到達時間の算定として、表-4・3・1に示しておいたので、この両者を図-4・5・9に示すことにした。

この図表から比較考察すると、以下のことがわかる。すなわち、河川延長と洪水到達時間の関係は、一定の関数ではなく、地形、および、その勾配、また、降雨状況などによって異なるが、大筋において、両者の算定結果は、一致することが明らかとなった。このことは、洪水到達時間の算定法としては、本研究において、新しく提案した方法が合理的であることを立証するものである。

表-4・5・4 中安の総合単位図法による河川延長と洪水上昇時間の関係

L (km)	t _g		t _r	0.8 t _r	T ₁ (hr)
	0.2 1 L ^{0.7}	0.4+0.058L			
6	0.8		0.8	0.7	1.5
8	0.9		0.9	0.8	1.7
10	1.1		1.1	0.9	2.0
12	1.2		1.2	1.0	2.2
14	1.3		1.3	1.1	2.4
15	1.4		1.4	1.2	2.6
20		1.6	1.6	1.3	2.9
25		1.9	1.9	1.6	3.5
30		2.2	2.2	1.8	4.0
35		2.5	2.5	2.0	4.5
40		2.8	2.8	2.3	5.1
45		3.1	3.1	2.5	5.6
50		3.3	3.3	2.7	6.0

図-4・5・9 河川延長と洪水到達時間の関係



2 Kinematic wave 法による解析と考察

② 湊川の計画ハイドログラフ

特性曲線法を用いた計画ハイドログラフの解析については、流域面積、流域の形状などを勘案し、香川県の湊川を選定した。また、確率年は、100年とし、計画降雨は、塩江の中時間降雨の100年確率有効ハイトグラフを用いて解析した。

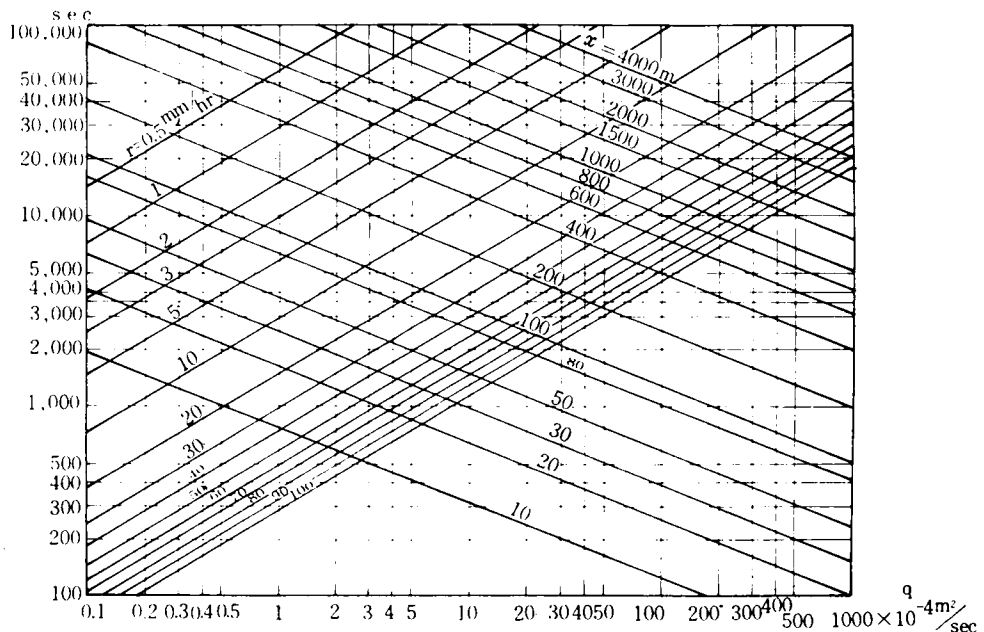
まず、湊川の流域の諸元としては、つぎの値を用いた。

すなわち、流域面積 $A = 51.6 \text{ km}^2$ ，流路延長 $L = 17.5 \text{ km}$ ，流域平均幅 $B = 2.95 \text{ km}$ ，山腹斜面勾配 $\sin \theta_0 = 0.1$ ，等価粗度係数については、一般に、 $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{ sec}$ であり、現在では、ピーク流量が実測値と合うよう試算的に決定せざるをえないので $N = 1.0$ とした。また、河川断面については、広矩形断面の水路として、

$$P_0 = \frac{3}{5} \text{ とすると、 } K_0 = \left(\frac{N}{\sqrt{\sin \theta_0}} \right)^{P_0} = 1.99 \text{ となる。}$$

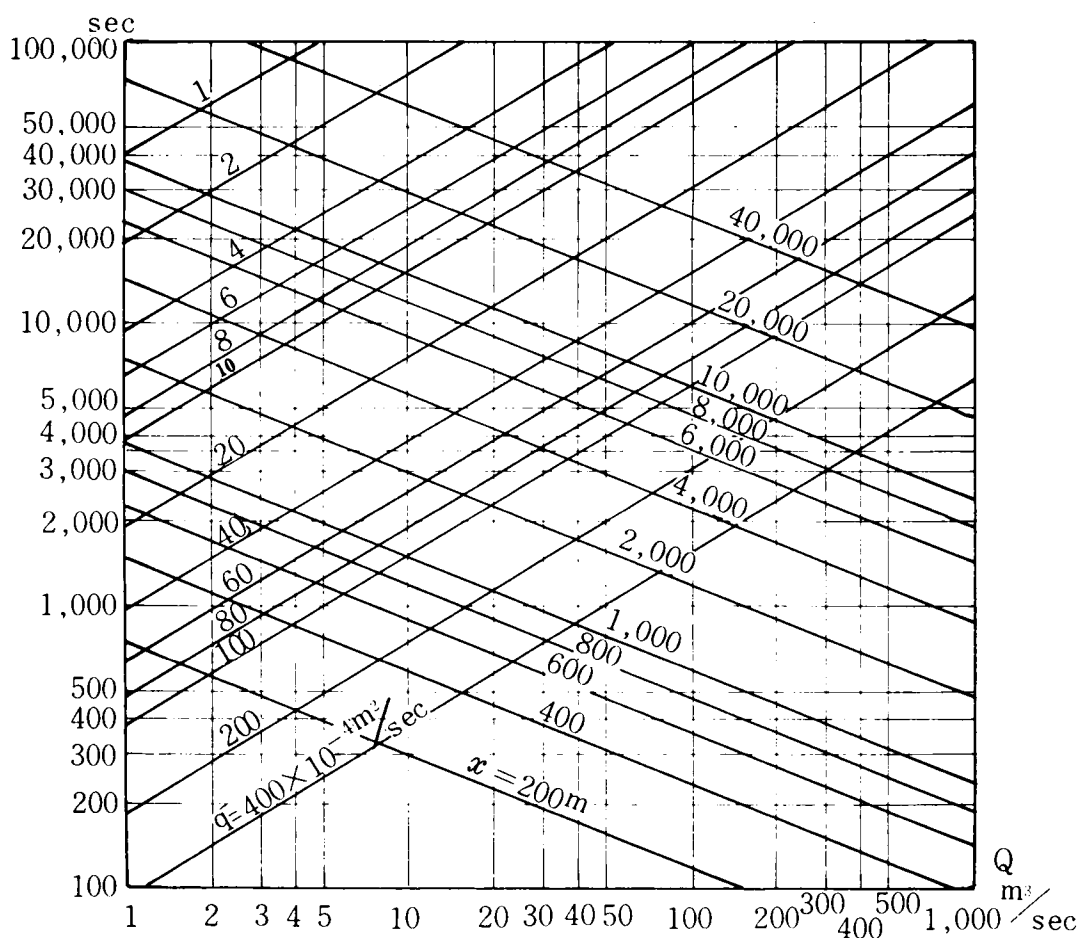
また、山腹斜面の標準特性流量曲線については、式(4・4・26)，式(4・4・27)を用いて等雨量線と等距離線を算定した。図-4・5・10は、湊川の山腹斜面の標準特性流量曲線図である。

図-4・5・10 湊川山腹斜面の標準特性流量曲線



つぎに、河道の標準特性流量曲線についても、式(4・4・30), 式(4・4・31)に流路勾配 $\sin \theta_c = 0.005$, 等価粗度係数 $n = 0.5$, $P_c = \frac{3}{5}$ を用い, $K_c = 3.25$ を算出し, 等流量線と等距離線を求めた。図-4・5・11 は、湊川の河道の標準特性流量曲線図である。

図-4・5・11 湊川流路の標準特性流量曲線



したがって、山腹斜面の流出量は、図-4・5・10 に示した標準特性流量曲線図と 図-4・5・2 に算出した塩江100年確率有効ハイエトグラフから求めることができる。図-4・5・12 は、その解析結果である。

また、河道の流出量は、図-4・5・11 に示した標準特性流量曲線図と図-4・5・12 に示した山腹斜面の流出量から求めることができる。その解析結果を図示したものが、図-4・5・13 である。

すなわち、この解析図が湊川100年確率ハイドログラフであり、湊川の治水計画の基本高水となるものである。

図-4・5・12 湊川100年確率山腹斜面流出量

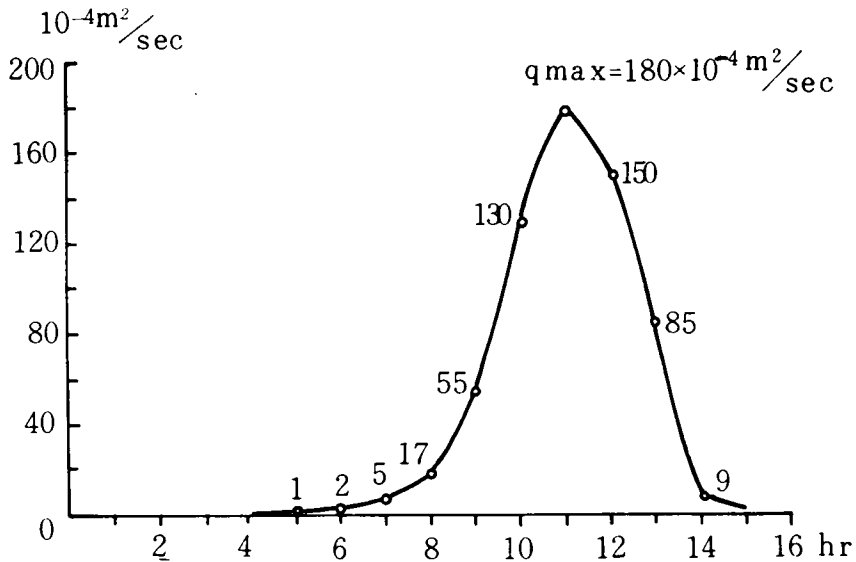
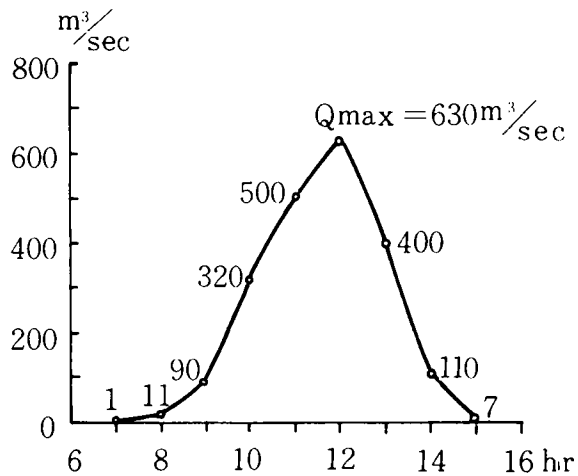


図-4・5・13 湊川100年確率ハイドログラフ



⑤ 解析結果の考察

特性曲線法による計画ハイドログラフの解析として、香川県の湊川を選び、100年確率ハイドログラフを解析した。

その結果、100年確率ハイドログラフのピーク流量は、 $630\text{ m}^3/\text{sec}$ となり、中安の総合単位図法を用いた解析値と同じ値となったが、洪水の継続時間が中安の場合より、わずかに短時間となった。このことは、現実の洪水流出には、表面流のみでなく中間流、地下水の影響、河道貯留現象など複雑な素因があり、中安の場合は、単位図にすでに、包含されていることによるものと考えられる。もちろん、これらの効果を **Kinematic wave** 法でも追跡できるが、ここでは、実施しなかった。

本節の結論としては、中小河川の計画ハイドログラフの解析については、この特性曲線法、および、中時間降雨の確率ハエトグラフを結合して解析することが、きわめて、合理的な解析法となることを明らかにした。ただ、特性曲線法においては、流域の等価粗度係数の決定基準に、まだ、明確なものがなく、現時点では、流出量のピーク流量が、実測値と合うように試算的に等価粗度係数を決定せざるをえない。

したがって、等価粗度の決定基準については、今後、理論的研究はもとより、全国的に統一した調査、研究を行なう必要があろう。

以上、本節においては、中小河川に適用する計画ハイドログラフの解析法は、中安の総合単位図法と **Kinematic wave** 法に、第3章で提案した中時間確率ハエトグラフ、および、中安の降雨損失曲線を用いて解析すると、解析手法が、きわめて、容易に、合理的な解析ができることを明らかにしたもので、従来は、計画の都度、降雨調査から始めて、多大の時間と労力を要していた解析の困難さを、解析手法上において、簡単、かつ、合理的なものとなるよう、体系化を図ったものである。

第6節 結 語

従来、中小河川の治水計画策定の計画高水の解析は、いずれの都道府県においても、その計画の都度、基礎資料から収集、解析をする手順を行なってきたおり、いまだに、その計画上の体系化が進んでいない現状下であった。したがって、本章においては、中小河川に適用する計画高水の算定法とその考察として、中小河川に適用性のある解析法につき論述し、その適用上の問題点についても考察した。また、香川県の主要河川の計

画高水の解析には、計画降雨として、第3章で提案した、中時間降雨の計画降雨の算定法を用いて解析した。その結果、解析手法が、きわめて容易に、また、合理的な解析ができることを明らかにした。

すなわち、第1節においては、計画高水流量の推定法に関する従来の研究は、諸外国の文献から、その推定法につき研究、論述し、また、その方法を経験公式と理論的考察に基づいた公式に分類し、その歴史的な変遷とその適用条件について明らかにした。

第2節においては、中小河川治水計画策定の計画高水のうち、まず、計画高水流量の算定法としては、現在、わが国の河川において広く実用されている、合理法につき、その基本概念を論述した。また、この合理法の適用上の重要な素因は、計画降雨であり、この計画降雨の算定には、その適正な洪水到達時間の算定が必要となる。したがって、中小河川の治水計画における、洪水到達時間の算定について、本節においては、Kinematic wave法とKravenの値を用いた、新しい合理的な算定法を提案した。そして、わが国において、従来から用いられている、いわゆるRziha公式による方法と比較、考察し、その合理性を明らかにし、また、Rziha公式自身の適用範囲についても明らかにした。

さらに、計画降雨強度の算定については、この新しく提案した、洪水到達時間の算定法より求めた時間を基に、第3章において、提案した中時間確率降雨強度式、および、降雨強度曲線を適用すると、きわめて、容易に、合理的な計画降雨強度を算定することができることを論じ、さらに、降雨資料の未整備地点への降雨の変換解析についても論述した。第3節においては、香川県内主要河川の計画高水流量の解析と考察として、県内の主要河川16河川を対象に行なった。その解析法は、合理法を用い、洪水到達時間の算定は、新しく提案した算定法、計画降雨は、治水計画の策定であるから、確率年数を100年、50年、30年とし、高松中時間確率降雨強度曲線と流域別の補正係数を用いて、各河川における確率高水流量を解析した。

その結果、解析手法が、きわめて簡単に、また、合理的な解析ができることがわかった。

すなわち、中小河川治水計画に適用する計画高水流量の算定については、算定法は合理法、洪水到達時間の算定法は、本章において、新しく提案した方法、計画降雨の算定は、第3章で提案した中時間確率降雨強度式、および、その曲線から算出した計画降雨

を適用すると、その解析手法が、きわめて、容易に、また、その解析結果が合理的な解析となることを明らかにした。

第4節においては、計画ハイドログラフの解析法について、流量資料が乏しい中小河川において、流域特性より容易に、解析のできる、中安の総合単位図法と近年、急速な発展をみている Kinematic wave 法について論述し、また、その解析法と中小河川に適用する場合の問題点について考察した。

中小河川治水計画の計画ハイドログラフの解析に適用する計画ハエトグラフの算定については、第3章において提案した中時間降雨の確率ハエトグラフの算定法を用いると、きわめて、容易で、合理的な確率ハエトグラフを算定することができる。また、確率有効ハエトグラフの算定については、多くの方法があるが、本節においては、中安の損失雨量曲線による方法を用いて、確率有効ハエトグラフの算定をした。

第5節においては、香川県内代表河川の計画ハイドログラフの解析と考察として、中安の総合単位図を用いた解析とその考察については、まず、香川県内の主要河川のうちから、流域面積が50km²級の河川として湊川、100km²級の河川として香東川、150km²級の河川として土器川を選び、計画降雨は、高松の中時間降雨の確率ハエトグラフを用い、山間部の塩江の確率ハエトグラフを降雨の変換解析から算出、また、その確率有効ハエトグラフについても算出し、各河川の河口地点における、100年確率ハイドログラフの解析を行なった。

その結果、解析をした100年確率ハイドログラフについては、湊川は、ピーク流量が630 m³/sec、香東川は1,050 m³/sec、土器川は1,170~1,190 m³/secとなり、第3節において解析をした湊川100年確率高水流量640 m³/sec、香東川1,100 m³/sec、土器川1,230 m³/secと比較、考察すると、その偏差は、わずかに2~5%となり、きわめて近い値となった。また、土器川においては、建設省が洪水時の流量観測を行っており、昭和47年9月16日、昭和50年8月23日の出水時の実測値と比較するに、洪水継続時間、および、流出状況においても、よく近似することを確認した。

すなわち、中小河川治水計画の計画ハイドログラフの解析については、中安の総合単位図法に、第3章において提案をした中時間降雨の確率ハエトグラフを適用して解析すると、その解析手法が、きわめて、容易、また、その解析結果が、合理的な計画ハイドログラフの解析となることを明らかにした。また、降雨の単位時間の決定については、

土器川において解析した結果、その時間は、出水の遅れの（0.5～1.0）倍の範囲であれば、その解析値は、いかなる単位時間を採用しても、大差を生じないことを明らかにした。

つぎに、Kinematic wave 法による解析については、香川県内の主要河川のうちから、流域面積、流域の形状などを勘案して、湊川を選び、解析法は、末石の特性曲線法、計画降雨は、塩江の中時間降雨の100年確率有効ハイエトグラフを適用し、100年確率ハイドログラフの解析を行った。

その結果、解析をした湊川100年確率ハイドログラフのピーク流量は、中安の総合単位図法のときと、同じく $630\text{ m}^3/\text{sec}$ となり、合理的な解析を行うことができた。

すなわち、中小河川治水計画の計画ハイドログラフの解析については、末石の特性曲線法に、第3章において提案した中時間降雨の確率ハイエトグラフを適用して解析すると、その解析手法が、きわめて、容易に、また、その解析結果が、合理的な計画ハイドログラフの解析となることを明らかにした。

しかしながら、この解析法には、流域を等価流域に分割し、また、流域に等価粗度係数という仮定を導入しているところに、難しい問題がある。したがって、今後の研究としては、この全国的な等価粗度係数の決定基準設定のための調査、研究が急務であることを認識した。

以上、本章において、提案した中小河川に適用する計画高水の算定については、中小河川の治水計画における基本高水、すなわち、計画高水流量、計画ハイドログラフ、ともに、従来の解析は、その計画の都度、基礎資料から調査、解析し、多大の時間と労力を要し、解析が非常に困難であったものを、本章においては、解析手法が、きわめて容易に、また、解析結果が合理的な解析となるよう、計画上の体系化を図ったものである。

参 考 文 献

- (1) U. T. Chow : Hydrologic Determination of water way areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basins, Engineering Experiment Station, No. 462
- (2) Rudolph Hering : Sewerage Systems, Trans, ASCE, Vol. 10(1881) P. 362
- (3) R. E. MacMath : Determination of the Size of Sewers, Trans, ASCE, Vol. 116(1887), P. 183
- (4) W. C. Parmley : The Walworth Sewers, Cleveland, Ohio, Trans, ASCE, Vol. 55(1905), P. 345
- (5) C. E. Gregory : Rainfall and Runoff in Storm Water Sewers, Trans, ASCE, Vol. 80, P. 201
- (6) C. E. Gregory : Rainfall and Runoff in Storm Water Sewers, Trans, ASCE, Vol. 58(1907), P. 474
- (7) G. H. Bremner : Areas of Water ways for Railroad Culverts and Bridges, Society of Engineers, Vol. 11 No. 2 (April, 1906), PP. 139, 170
- (8) C. S. Jarvis : Flood Flow Characteristics, Trans, ASCE, Vol. 89(1926), P. 994
- (9) R. L. Gregory and C. E. Arnold : Runoff-Rational Runoff Formula, Trans, ASCE, Vol. 96, PP. 1,038~1,099
- (10) C. E. Grunsky : Rainfall and Runoff Studies, Trans, ASCE, Vol. 77(1944), P. 648
- (11) W. E. Fuller : Flood Flows, Trans, ASCE, Vol. 77, PP. 564~617
- (12) Emil Kuichling : Discussion of Flood Flows, Trans, ASCE, Vol. 77(1914), P. 648

- (13) Geoge Ribeiro : Formula Presented for Esting, Flood Discharge, Civil Engineering, Vol. 21, №11, (November 1951), P. 661
- (14) U. T. Chow : Hydrologic Design of Culvert, Proceedings, ASCE, Vol. 88, №HY2, March, 1962, PP. 39~55
- (15) 石原藤次郎, 高棹琢馬 : 中間流出現象とそれが流出過程におよぼす影響について, 土木学会論文集, 第79号, 1962年
- (16) 石原藤次郎 : 水工水理学, 丸善, 1972年, PP. 309~351, 380~420
- (17) 高棹琢馬, 金丸昭治 : 水文学, 朝倉書店, 1975年, PP. 104~112
- (18) 高棹琢馬 : 流出機構, 土木学会水理委員会, 1967年, PP. 13~18
- (19) 高棹琢馬, 池渕周一 : 流出解析, 土木学会誌, 1972年, PP. 03-13~03-18
- (20) 岩井重久, 石黒政儀 : 応用水文統計学, 森北出版社, 1970年, PP. 276~323
- (21) 山本三郎 : 河川工学, 朝倉書店, 1958年, PP. 93~97, 104~119, 151
- (22) 吉川秀夫 : 河川工学, 朝倉書店, 1966年, PP. 33~43
- (23) 千田稔 : 実用河川計画, 理工図書, 1973年, PP. 47~59, 83~108
- (24) 本間仁, 安芸皎一 : 物部水理学, 岩波書店, 1973年, PP. 568~589
- (25) 土木学会 : 水理公式集, 昭和38年増補改訂版, 昭和42年, PP. 23~39
- (26) 土木学会 : 水理公式集, 昭和46年度改訂版, 昭和48年, PP. 113~124
- (27) 建設省水文研究会 : 流出計算例題集1, 全日本建設技術協会, 昭和50年, PP. 13~21
- (28) 建設省水文研究会 : 流出計算例題集2, 全日本建設技術協会, 昭和50年, PP. 1~11
- (29) 川上謙太郎 : 河川洪水のピーク流量に関する研究, 九大学位論文, 1961年
- (30) 川上謙太郎 : 河川洪水ピーク流量に関する研究, 土木学会論文集, 第79号, 1962年
- (31) 石原藤次郎, 高棹琢馬 : 単位図とその適用に関する基礎的研究, 土木学会論文集, №60, 1959年
- (32) 石原藤次郎, 田中要三, 金丸昭治 : わが国における単位図の特性について, 土木学会誌, Vol. 41, №3, 1956年
- (33) 中安米蔵 : 治水計画における洪水流出, 京大学位論文, 1950年

- (34) 中安米蔵 : 本邦河川洪水のUnite graph について, 建設省第7回技術研究報告, 1953年, PP. 333~346
- (35) 立神弘洋 : 木曾川洪水の水文学的研究, 京大学位論文, 1954年
- (36) 金丸昭治 : わが国河川の単位図とその総合化に関する水文学的研究, 京大学位論文, 1961年
- (37) 建設省四国地方建設局 : 昭和50年度土器川流出解析報告書, 昭和51年
- (38) 岩垣雄一, 末石富太郎 : 横から一様な流入のある開水路の不定流について, 土木学会誌, Vol. 39, No. 11, 1954年
- (39) 末石富太郎 : 特性曲線法による出水解析について, 土木学会論文集, 第29号, 1955年

第5章 結 論

本研究は、現在、わが国の緊急な水防災対策として、中小河川、とくに、地方都市周辺の中小河川の治水事業を早急に計画し、実施、促進を図らなければならぬことを強調し、この中小河川の治水計画策定に関する問題点について研究した。

すなわち、この中小河川の治水計画策定にあたっての計画高水、すなわち、計画高水流量、および、計画ハイドログラフの解析においては、まず、その流域へのインプットとなる計画降雨の適確な解析が必要であることにかんがみ、全国の多雨地域を代表する高知、徳島と寡雨地域を代表する高松、松山における降雨特性、および、計画降雨の合理的算定法について研究した。

つぎに、流域からのアウトプットである、治水計画策定のもっとも、必要な計画高水、すなわち、計画高水流量の解析については、現在、広く実用されている合理法につき論述し、とくに、この適用上の問題点は、洪水到達時間の適正な算定法が要求されているので、本研究においては、Kinematic wave法とKravenの値を用いた、新しい算定法を研究、提案した。また、計画ハイドログラフの解析については、中小河川は、流量資料の乏しい場合が多いので、流域特性のみから解析のできる中安の総合単位図法と近年、水理学的に研究の発展しているKinematic wave法について論述した。

そして、香川県的主要河川を代表に選び、これらの計画高水の解析には、上述の解析法に、本研究において提案した新しい計画降雨の合理的算定法を適用した計画降雨を採用、解析した結果、きわめて、容易に、また、合理的な解析ができることを明らかにした。

以下、本研究において得られた成果を要約すると、つぎのとおりである。

- ① わが国の近年の急激な社会開発に対し、水災害は、毎年、激甚なものがある。この水防災対策については、治水事業の遅れている中小河川、とくに、地方都市周辺の中小河川治水事業の早期促進を図ることが、緊急な社会問題であり、また、国、県の重要施策となっていることを明らかにした。
- ② これら中小河川の規模については、ほとんどの河川は、流域面積が 100km^2 以下、洪水到達時間が6時間以内の河川であることを再確認した。
- ③ 中小河川治水計画策定の計画高水は、流量資料も少い現在、降雨資料を用いて解析

することになっている。

- ④ 治水計画策定の計画高水のうち、計画高水流量の解析については、その計画降雨は、確率降雨強度式を算定し、また、確率降雨強度曲線を作成し、これを用いて、その値を算定することになっている。

そして、この確率降雨強度式の算定法には、近年、研究されているものに、特性係数を用いた短時間確率降雨強度式の算定法と長時間確率降雨強度式の算定法がある。

したがって、これらの算定法について論述し、また、全国的な多雨地域の代表地として、高知、徳島、寡雨地域の代表地として、高松、松山を選び、各地の各確率降雨強度式については、この算定法を用い、解析、考察した。

- ⑤ その結果、短時間確率降雨強度式については、適用時間帯は、降雨継続時間が10分間から2時間までのものであり、一方、中小河川の規模は、ほとんど、洪水到達時間が30分間から6時間までのものであるから、中小河川治水計画の策定には不适当であり、また、長時間確率降雨強度式については、特性係数法、物部式、伊藤式、および、川上式について解析し、実測値と比較、考察すると、その適用時間帯は、それぞれ特定の時間のみとなり、普遍的な適合性に乏しいので不十分であることが判明した。

- ⑥ したがって、いま、中小河川の治水計画策定に必要な適用時間帯は、30分間から12時間までとし、著者は、これを「中時間」と名づけ、この中時間確率降雨強度式の算定法については、特性係数法を修正して、その新しい合理的な算定法を考究した。

すなわち、この算定法については、同一確率年の1時間と6時間の確率降雨強度が既知であると、その式形は、Talbot形を適用して解析することができ、また、きわめて、簡単に、適合度の高い計画降雨を算出することのできる実用的、合理的な算定法である。

- ⑦ つぎに、四国の主要都市、高松、高知、松山、徳島の確率降雨強度式、および、強度曲線については、本研究で提案した、中時間確率降雨強度式の算定法を適用、解析し、また、その成果については、図-3・2・5から図-3・2・8までに図示し、四国の各県が、中小河川の治水計画策定の計画高水流量の設定を容易に、かつ、適確に行うことができるよう図った。

- ⑧ また、治水計画策定の基本高水のうち、計画ハイドログラフの解析については、そ

の計画降雨は、確率ハイエトグラフを算定し、これを用いて、解析をすることにして
いる。

したがって、この算定法については、確率降雨強度式の算定法の場合と同じ考え方をし、中時間確率ハイエトグラフの新しい算定法を考究した。

- ⑨ そして、四国の主要都市、高松、高知、松山、徳島の200年、100年、50年確率ハイエトグラフについては、本研究で提案した中時間確率ハイエトグラフの算定法を適用、解析し、また、その成果については、図-3・4・1から図-3・4・12までに図示し、四国の各県が、中小河川の治水計画策定の計画ハイドログラフの設定を容易に、かつ、適確に行なうことができるよう図った。
- ⑩ さらに、降雨情報の任意地点への変換については、四国地方の主要地点の確率日雨量を調査、解析し、また、各県において、基幹観測所と各地点の日雨量比を解析し、時間降雨量の未知な地点における、降雨の変換に役立たせるよう図った。
- ⑪ 計画高水流量の算定法については、合理法につき論述し、とくに、適用上重要な素因は、適確な計画降雨を算定するための適正な洪水到達時間の算定が必要である。したがって、本研究においては、新しく **Kinematic wave** 法と **Kraven** の値を用いた算定法を提案した。
- ⑫ そして、香川県内主要16河川の100年、50年、30年確率高水流量については、算定法は、合理法、洪水到達時間は、新しく提案した算定法、計画降雨には、本研究にて提案した中時間確率降雨強度式の値を用いて解析した結果、その解析が、きわめて、容易に、合理的な解析のできることを明らかにした。
- ⑬ 計画ハイドログラフの解析法については、中小河川は、流量資料の乏しい場合が多いので、流域特性のみから、簡単に、解析のできる中安の総合単位図法と近年、水理学的に研究の発展している **Kinematic wave** 法について論述した。また、計画ハイドログラフの解析に用いる有効降雨量については、本研究において提案した中時間確率ハイエトグラフの算定法を用い、中安の損失雨量曲線によって、有効計画降雨量の算定をした。
- ⑭ そして、香川県内の代表河川の100年確率ハイドログラフの解析については、算定法には、中安の総合単位図法、および、末石の特性曲線法、計画降雨には、本研究で提案した中時間100年確率ハイエトグラフから有効計画降雨を算定し、これを用

いて解析した結果、いずれの解析も、解析がきわめて、容易に、また、解析結果が合理的であることを明らかにした。

従来の解析は、その計画の都度、基礎資料から調査、解析し、多大の労力と時間を要し、解析が、きわめて困難であったのに対し、本研究において、提案した計画高水の算定法は、その解析手法が、きわめて、容易に、また、その解析結果が、合理的なものになるので、現在、遅れている中小河川治水計画の計画上の体系化を図った点で、非常に、有効なものと確信している。

ただ、こうした解析法を、さらに、精度を高め、普遍化してゆくためには、粗度係数の合理的決定基準、損失雨量の合理的算定法など、今後とも、研究していかなければならない課題もある。

- ⑮ なお、降雨の解析において、その他、得られた成果としては、つぎのことがいえる。特性係数法を用いた短時間確率降雨強度式は、降雨継続時間が2時間までに適用されるもので、小流域の農地排水計画策定などの計画降雨の算定法としては、きわめて合理的な解析法である。

本研究においては、降雨特性の異なる 高松、高知、松山、徳島について、本算定法を用い、解析し、その降雨特性について考察した結果、降雨量の多い地点は、式形が Talbot 形、少ない地点は、Sherman 形、または、久野、石黒形となり、また、特性係数値 β_N^{10} が、2.0 附近を境として、2.0 より大きい値の場合は、Sherman 形、または、久野、石黒形、2.0 より小さい値の場合は、Talbot 形になることを明らかにした。したがって、この値は、特性係数値から、その式形を判断することができ、また、短時間確率降雨強度式の算定法の初期条件としては、きわめて、重要、かつ、貴重なものである。

以上、要するに、本研究においては、現在、研究の立ち遅れている、中小河川治水計画に適用する計画降雨、および、計画高水の算定法に関して、新しく研究、考察したもので、今後、これらの研究が、四国地方の中小河川の治水計画策定に、有効に活用され、適切な計画高水の設定が行なわれ、治水事業の実施、促進に、また、全国の中小河川の治水事業の実施、促進に貢献せんことを念願するものである。

本研究の遂行にあたっては、京都大学、名誉教授、石原藤次郎博士を始めとし、同大学工学部土木工学教室、高棹教授、および、池渕助教授に直接、懇切なご指導、ご教示を戴くとともに、関係資料の提供などについては、香川県土木部河川砂防課、高知県土木部河川課、愛媛県土木部河川課、徳島県土木部河川課、および、高松气象台、高知气象台、松山气象台、徳島气象台の多くの方々に絶大なるご協力とご援助を賜ったので、ここに、心から厚く御礼を申し上げるしだいである。

高松 10 分間年最大雨量

別表 1

単位 mm

順位	年 月 日	10分間雨量	順位	年 月 日	10分間雨量
1	S22. 7. 15	23.1	18	S36. 9. 4	11.6
2	42. 7. 9	22.0	19	23. 7. 13	11.0
3	25. 8. 10	20.2	20	21. 6. 21	10.9
4	49. 7. 4	20.0	21	33. 6. 23	10.7
5	45.10.12	19.0	22	40. 7. 5	10.0
6	46. 7. 8	18.0	23	17. 8. 6	10.0
7	20. 8. 30	18.0	24	48. 8. 14	9.5
8	24. 9. 22	15.5	25	39. 7. 9	8.5
9	28. 6. 6	14.8	26	44. 6. 25	8.0
10	19. 8. 25	14.8	27	41.10.12	7.7
11	34. 8. 12	13.5	28	47. 9. 16	7.5
12	32. 7. 18	13.2	29	31. 8. 30	7.0
13	18. 8. 6	13.2	30	29. 6. 28	6.4
14	27. 9. 14	12.9	31	43. 9. 8	6.0
15	35. 9. 11	12.8	32	26. 7. 14	5.9
16	38. 8. 28	12.5	33	37. 6. 2	4.1
17	30. 6. 29	11.7			

高松 20 分間年最大雨量

別表 2

単位 ㎜

順位	年 月 日	20 分間雨量	順位	年 月 日	20 分間雨量
1	S 49. 7. 4	33.0	18	S 35. 9. 11	16.0
2	22. 7. 15	30.6	19	33. 7. 3	15.0
3	46. 8. 16	25.5	20	40. 9. 10	14.8
4	25. 8. 10	23.8	21	47. 9. 16	14.5
5	20. 8. 30	23.6	22	44. 6. 25	14.5
6	19. 8. 25	23.5	23	21. 6. 21	14.5
7	42. 7. 9	23.2	24	17. 8. 6	13.5
8	38. 8. 28	22.7	25	23. 7. 13	13.2
9	32. 7. 18	20.8	26	39. 7. 9	12.7
10	45. 10. 12	20.0	27	43. 9. 30	10.7
11	34. 8. 12	18.5	28	48. 8. 14	10.5
12	28. 7. 18	18.0	29	26. 7. 14	10.3
13	27. 9. 14	17.0	30	29. 6. 28	9.8
14	24. 9. 22	16.9	31	41. 7. 1	9.4
15	36. 7. 9	16.8	32	31. 6. 5	7.8
16	18. 9. 11	16.8	33	37. 6. 9	6.8
17	30. 5. 23	16.2			

高松 30 分間年最大雨量

別表 3

単位 mm

順位	年 月 日	30 分間雨量	順位	年 月 日	30 分間雨量
1	S 25. 8. 6	40.0	18	S 39. 7. 9	20.0
2	22. 7. 15	37.5	19	33. 7. 3	20.0
3	49. 7. 4	34.0	20	21. 6. 21	19.8
4	38. 8. 28	32.2	21	24. 7. 31	19.5
5	32. 7. 18	31.8	22	18. 9. 11	19.1
6	46. 8. 16	30.5	23	34. 8. 12	18.6
7	20. 9. 3	29.6	24	44. 6. 25	17.0
8	28. 7. 18	27.6	25	23. 7. 13	15.1
9	19. 8. 25	26.7	26	17. 8. 6	14.0
10	27. 9. 14	25.0	27	41. 7. 1	13.3
11	42. 7. 9	24.1	28	26. 7. 14	12.1
12	45. 8. 21	23.5	29	43. 9. 30	11.0
13	30. 5. 23	22.7	30	31. 6. 5	11.0
14	36. 7. 9	21.6	31	29. 6. 28	10.8
15	40. 9. 10	21.3	32	48. 8. 14	10.5
16	35. 8. 13	21.1	33	37. 6. 9	9.3
17	47. 9. 16	20.0			

高松 1 時間年最大雨量

別表 4

単位 ㎜

順位	年 月 日	1 時間雨量	順位	年 月 日	1 時間雨量
1	S 25. 8. 6	6 6.5	1 8	S 36. 9. 4	2 9.3
2	32. 7. 18	5 2.7	1 9	33. 7. 3	2 8.3
3	28. 7. 18	4 6.0	2 0	18. 9. 11	2 6.2
4	38. 8. 28	4 4.8	2 1	24. 7. 31	2 3.6
5	22. 7. 15	4 2.5	2 2	21. 6. 21	2 3.4
6	30. 5. 23	3 8.5	2 3	34. 7. 11	2 3.2
7	40. 9. 10	3 8.0	2 4	29. 6. 29	2 0.4
8	49. 7. 4	3 6.5	2 5	41. 7. 1	2 0.3
9	20. 9. 3	3 6.1	2 6	44. 8. 23	2 0.0
1 0	47. 9. 16	3 4.0	2 7	37. 6. 9	1 9.8
1 1	42. 7. 9	3 3.5	2 8	26. 7. 14	1 9.3
1 2	45. 8. 21	3 3.0	2 9	23. 7. 13	1 7.2
1 3	27. 7. 10	3 2.9	3 0	31. 6. 5	1 6.7
1 4	35. 8. 13	3 1.5	3 1	17. 9. 21	1 5.3
1 5	46. 8. 16	3 0.5	3 2	43. 7. 28	1 4.0
1 6	39. 7. 9	3 0.4	3 3	48. 8. 14	1 2.0
1 7	19. 8. 25	2 9.4			

高松 9 0 分間年最大雨量

別表 5

単位 ㎜

順位	年 月 日	9 0 分間雨量	順位	年 月 日	9 0 分間雨量
1	S 25. 8. 6	85.0	1 8	S 34. 7. 11	31.3
2	32. 7. 18	57.0	1 9	46. 8. 16	30.5
3	40. 9. 10	51.0	2 0	19. 8. 25	30.0
4	38. 8. 28	49.8	2 1	33. 7. 3	28.3
5	28. 7. 18	47.8	2 2	18. 9. 11	26.7
6	47. 9. 16	45.0	2 3	29. 6. 29	24.8
7	45. 8. 21	43.0	2 4	21. 6. 21	23.6
8	27. 7. 10	42.5	2 5	44. 8. 23	23.5
9	22. 7. 15	42.5	2 6	43. 7. 28	22.8
1 0	30. 5. 23	39.6	2 7	41. 7. 1	22.8
1 1	49. 7. 4	36.5	2 8	26. 7. 14	21.0
1 2	20. 9. 3	36.4	2 9	31. 8. 21	20.3
1 3	42. 7. 9	35.2	3 0	37. 6. 9	20.0
1 4	39. 8. 24	34.5	3 1	23. 7. 13	18.2
1 5	24. 7. 31	34.4	3 2	17. 9. 21	16.6
1 6	35. 8. 13	32.9	3 3	48. 4. 26	12.5
1 7	36. 9. 4	32.0			

高松 2 時間年最大雨量

別表 6

単位 mm

順位	年 月 日	2 時間雨量	順位	年 月 日	2 時間雨量
1	S 25. 8. 6	99.4	1 8	S 24. 7. 31	36.5
2	47. 9. 16	64.0	1 9	39. 8. 24	36.0
3	40. 9. 10	63.5	2 0	35. 8. 13	34.8
4	32. 7. 18	62.0	2 1	19. 8. 25	32.0
5	38. 8. 28	53.8	2 2	33. 7. 3	29.2
6	28. 7. 18	48.4	2 3	44. 8. 23	28.5
7	27. 7. 10	47.5	2 4	18. 9. 19	28.3
8	36. 9. 4	44.3	2 5	43. 7. 28	26.5
9	45. 8. 21	43.5	2 6	21. 6. 21	24.7
1 0	22. 7. 15	42.5	2 7	26. 7. 14	24.6
1 1	30. 5. 23	40.7	2 8	41. 7. 1	23.6
1 2	20. 10. 9	39.8	2 9	37. 6. 9	23.6
1 3	34. 7. 11	39.5	3 0	17. 9. 21	22.0
1 4	42. 7. 9	39.1	3 1	31. 8. 21	21.8
1 5	29. 6. 29	37.9	3 2	23. 7. 13	20.1
1 6	49. 7. 4	36.5	3 3	48. 4. 26	13.0
1 7	46. 8. 30	36.5			

高松 3 時間年最大雨量

別表 7

単位 mm

順位	年 月 日	3 時間雨量	順位	年 月 日	3 時間雨量
1	S 25. 8. 6	113.7	18	S 42. 7. 9	39.8
2	47. 9. 16	93.5	19	49. 9. 9	39.0
3	40. 9. 10	84.0	20	43. 7. 28	37.5
4	32. 7. 18	75.9	21	24. 7. 31	37.5
5	36. 9. 4	64.4	22	44. 8. 23	37.0
6	38. 8. 28	59.4	23	19. 8. 25	33.3
7	45. 8. 21	56.0	24	17. 9. 21	32.3
8	28. 7. 18	54.0	25	33. 8. 24	32.2
9	46. 8. 30	53.0	26	26. 7. 14	31.2
10	29. 6. 29	52.9	27	18. 9. 19	29.8
11	27. 7. 2	51.9	28	21. 6. 21	28.0
12	39. 8. 24	44.6	29	31. 8. 21	27.6
13	34. 7. 11	43.4	30	37. 6. 9	27.1
14	20. 10. 9	43.2	31	41. 7. 1	26.9
15	22. 7. 15	42.5	32	23. 7. 13	23.5
16	35. 8. 13	42.0	33	48. 4. 26	14.0
17	30. 5. 23	41.0			

高松 6 時間年最大雨量

別表 8

単位 ㎜

順位	年 月 日	6 時間雨量	順位	年 月 日	6 時間雨量
1	S 47. 9. 16	1 3 6.0	1 8	S 33. 8. 24	4 8.8
2	25. 8. 6	1 2 5.3	1 9	39. 8. 24	4 8.2
3	40. 9. 10	1 1 5.4	2 0	35. 7. 8	4 5.3
4	20. 10. 9	9 2.0	2 1	17. 9. 21	4 4.2
5	36. 9. 4	8 0.6	2 2	22. 7. 15	4 2.5
6	28. 9. 24	7 9.6	2 3	30. 5. 23	4 1.1
7	32. 7. 18	7 6.5	2 4	18. 6. 14	4 1.1
8	46. 8. 30	7 5.5	2 5	24. 9. 19	4 0.7
9	49. 9. 9	7 4.5	2 6	31. 9. 26	3 8.6
1 0	27. 7. 2	7 3.1	2 7	41. 9. 17	3 8.4
1 1	45. 8. 21	7 1.5	2 8	26. 7. 14	3 7.7
1 2	34. 9. 26	7 1.0	2 9	19. 8. 25	3 3.3
1 3	38. 8. 28	6 2.9	3 0	21. 7. 29	3 3.1
1 4	29. 6. 29	6 0.4	3 1	23. 8. 26	3 1.2
1 5	44. 7. 7	5 7.0	3 2	37. 6. 9	2 9.0
1 6	43. 7. 28	5 3.0	3 3	48. 1. 17	1 8.5
1 7	42. 10. 27	5 0.6			

高松 1 2 時間年最大雨量

別表 9

単位 mm

順位	年 月 日	1 2 時間雨量	順位	年 月 日	1 2 時間雨量
1	S 47. 9. 16	1 5 6.0	1 8	S 38. 8. 28	6 8.4
2	28. 9. 24	1 4 2.0	1 9	43. 7. 28	6 7.5
3	25. 8. 6	1 3 4.7	2 0	21. 7. 29	6 6.7
4	40. 9. 10	1 3 0.6	2 1	44. 7. 7	6 2.0
5	20. 10. 9	1 2 9.8	2 2	24. 9. 19	6 0.1
6	46. 8. 30	1 1 0.0	2 3	19. 10. 7	5 5.6
7	36. 9. 4	9 8.8	2 4	41. 9. 17	5 4.4
8	34. 9. 26	9 8.3	2 5	26. 7. 14	5 3.3
9	33. 8. 24	9 7.1	2 6	18. 6. 14	5 0.8
1 0	27. 7. 2	9 5.1	2 7	39. 8. 24	5 0.6
1 1	17. 9. 21	9 4.6	2 8	31. 9. 26	4 9.6
1 2	49. 9. 9	9 4.0	2 9	22. 6. 24	4 6.9
1 3	29. 6. 29	9 3.3	3 0	30. 5. 23	4 4.0
1 4	42. 10. 27	8 0.1	3 1	23. 8. 26	4 3.0
1 5	32. 7. 18	7 8.7	3 2	37. 6. 9	3 6.1
1 6	45. 8. 21	7 8.0	3 3	48. 1. 17	2 1.5
1 7	35. 7. 8	7 4.9			

高松 2 4 時間年最大雨量

別表 1 0

単位 ㎜

順位	年 月 日	2 4 時間雨量	順位	年 月 日	2 4 時間雨量
1	S 47. 9. 16	1 9 7.5	1 8	S 35. 7. 8	8 9.8
2	28. 9. 24	1 8 4.6	1 9	45. 8. 21	8 6.5
3	46. 8. 30	1 6 3.0	2 0	38. 6. 4	8 6.4
4	27. 7. 2	1 6 0.1	2 1	31. 9. 26	8 6.0
5	20. 10. 9	1 5 2.6	2 2	24. 9. 19	8 1.7
6	40. 9. 10	1 5 0.3	2 3	26. 7. 14	7 8.7
7	25. 8. 6	1 3 4.7	2 4	41. 9. 17	7 8.0
8	17. 9. 21	1 2 9.8	2 5	43. 7. 28	7 6.0
9	49. 9. 9	1 2 2.0	2 6	21. 7. 29	6 9.3
1 0	33. 8. 24	1 2 0.4	2 7	39. 8. 24	6 3.3
1 1	42. 10. 27	1 1 4.6	2 8	37. 6. 9	6 1.9
1 2	44. 7. 7	1 1 4.0	2 9	18. 6. 14	6 0.4
1 3	34. 9. 26	1 1 2.7	3 0	22. 6. 24	4 8.5
1 4	36. 9. 4	1 1 2.0	3 1	23. 8. 26	4 6.5
1 5	29. 6. 29	1 0 3.0	3 2	30. 5. 23	4 5.7
1 6	19. 10. 7	9 3.1	3 3	48. 1. 17	3 4.5
1 7	32. 7. 18	9 2.6			

高知 10 分間年最大雨量

別表 1 1

単位 mm

順位	年 月 日	10 分間雨量	順位	年 月 日	10 分間雨量
1	S 25. 5. 27	27.0	18	S 16. 8. 24	18.6
2	29. 6. 29	25.5	19	26. 6. 28	18.0
3	36. 10. 23	25.0	20	19. 8. 19	17.7
4	31. 9. 17	24.2	21	48. 4. 26	17.5
5	30. 8. 29	23.5	22	17. 9. 18	17.5
6	20. 8. 25	23.4	23	46. 9. 18	17.0
7	23. 8. 26	21.0	24	41. 10. 25	16.8
8	22. 8. 19	20.3	25	49. 9. 8	16.0
9	42. 8. 18	20.0	26	44. 6. 25	16.0
10	34. 4. 4	20.0	27	27. 9. 14	16.0
11	40. 6. 14	19.9	28	38. 6. 28	15.5
12	47. 7. 4	19.5	29	33. 9. 10	15.2
13	28. 7. 21	19.4	30	32. 7. 27	15.0
14	45. 8. 18	19.0	31	24. 9. 20	14.0
15	43. 8. 16	19.0	32	37. 7. 18	13.0
16	35. 9. 25	19.0	33	21. 7. 29	12.3
17	18. 7. 15	19.0	34	39. 9. 25	12.0

高知30分間年最大雨量

別表12

単位 mm

順位	年 月 日	30分間雨量	順位	年 月 日	30分間雨量
1	S29. 6. 29	63.0	18	S16. 6. 26	36.0
2	20. 8. 25	61.0	19	41.10. 25	35.0
3	23. 8. 26	59.8	20	32. 6. 27	33.6
4	42. 8. 18	52.0	21	40. 6. 14	33.3
5	36.10. 23	50.0	22	46. 9. 18	32.0
6	47. 9. 15	49.0	23	49. 9. 8	30.0
7	25. 5. 27	49.0	24	24. 9. 20	29.0
8	22. 8. 19	47.9	25	35. 9. 25	28.7
9	43. 8. 16	47.0	26	19. 4. 7	28.6
10	31. 9. 25	46.0	27	48. 9. 4	27.0
11	26. 6. 28	46.0	28	37. 7. 18	25.4
12	30. 8. 29	45.5	29	21. 7. 29	25.2
13	18. 7. 15	45.0	30	44. 6. 25	25.0
14	28. 7. 21	41.9	31	39. 9. 25	22.5
15	45. 8. 18	40.0	32	17. 6. 25	21.0
16	38. 6. 28	37.2	33	33. 9. 23	20.8
17	34. 4. 4	36.5			

高知 1 時間年最大雨量

別表 1 3

単位 ㎜

順位	年 月 日	1 時間雨量	順位	年 月 日	1 時間雨量
1	S 29. 6. 29	1 0 6.8	1 8	S 26. 6. 28	5 4.2
2	23. 8. 26	1 0 2.2	1 9	41. 10. 25	5 3.7
3	47. 9. 15	9 1.5	2 0	18. 7. 15	5 0.8
4	20. 8. 25	9 0.0	2 1	34. 4. 4	4 9.1
5	25. 5. 27	8 7.5	2 2	32. 6. 27	4 7.9
6	43. 8. 16	8 5.5	2 3	38. 6. 28	4 7.7
7	28. 7. 21	7 2.0	2 4	40. 6. 14	4 7.1
8	46. 9. 18	6 8.0	2 5	24. 8. 17	4 4.3
9	36. 10. 23	6 5.9	2 6	48. 9. 4	4 2.0
1 0	31. 9. 25	6 4.7	2 7	44. 8. 22	4 2.0
1 1	22. 8. 19	6 3.8	2 8	35. 4. 19	4 0.0
1 2	27. 8. 5	6 2.5	2 9	17. 9. 18	3 9.9
1 3	49. 8. 27	6 0.5	3 0	39. 6. 28	3 9.7
1 4	30. 8. 29	5 9.7	3 1	19. 4. 7	3 7.8
1 5	45. 8. 18	5 9.5	3 2	33. 2. 2	3 5.7
1 6	16. 6. 26	5 8.7	3 3	37. 7. 18	3 5.0
1 7	42. 8. 18	5 7.0	3 4	21. 7. 29	3 3.7

高知 8 0 分間年最大雨量

別表 1 4

単位 ㎜

順位	年 月 日	8 0 分間雨量	順位	年 月 日	8 0 分間雨量
1	S 47. 9. 15	1 2 2.0	1 8	S 26. 6. 28	5 9.7
2	23. 8. 26	1 2 1.8	1 9	18. 7. 15	5 8.6
3	29. 6. 29	1 1 4.5	2 0	24. 8. 17	5 7.5
4	20. 8. 25	1 0 0.3	2 1	42. 8. 18	5 7.1
5	25. 5. 27	9 8.8	2 2	40. 9. 15	5 7.1
6	43. 8. 16	9 8.0	2 3	34. 4. 4	5 6.0
7	28. 7. 21	8 6.3	2 4	44. 8. 22	5 4.0
8	16. 6. 26	8 6.2	2 5	32. 6. 27	5 3.0
9	31. 9. 25	7 7.8	2 6	38. 6. 28	5 2.7
1 0	27. 8. 5	7 1.4	2 7	48. 9. 4	5 2.0
1 1	49. 8. 27	7 0.0	2 8	39. 9. 25	4 8.8
1 2	45. 8. 18	6 9.0	2 9	17. 6. 25	4 7.6
1 3	46. 9. 18	6 8.0	3 0	35. 4. 19	4 5.5
1 4	36. 10. 23	6 7.0	3 1	33. 2. 2	4 3.5
1 5	22. 8. 19	6 6.1	3 2	21. 7. 29	4 1.6
1 6	30. 8. 29	6 3.1	3 3	19. 4. 7	4 1.1
1 7	41. 10. 25	6 0.0	3 4	37. 7. 18	3 8.2

高知2時間年最大雨量

別表 1 5

単位 mm

順位	年 月 日	2 時間雨量	順位	年 月 日	2 時間雨量
1	S 47. 9. 15	1 5 2.0	1 8	S 46. 9. 18	6 8.0
2	20. 8. 25	1 2 7.6	1 9	36.10.23	6 7.5
3	29. 6. 29	1 2 7.5	2 0	18. 7. 15	6 5.8
4	23. 8. 26	1 2 6.9	2 1	38. 6. 4	6 5.0
5	43. 8. 16	1 0 7.5	2 2	35. 4. 19	6 5.0
6	25. 5. 27	1 0 6.5	2 3	30. 8. 29	6 3.1
7	31. 9. 25	9 8.0	2 4	24. 8. 17	6 2.6
8	16. 6. 26	9 6.9	2 5	41.10.25	6 2.5
9	28. 7. 21	9 3.4	2 6	48. 9. 4	6 2.0
1 0	40. 9. 15	8 4.9	2 7	33. 2. 2	6 0.7
1 1	49. 8. 27	8 3.0	2 8	21. 7. 29	5 7.6
1 2	22. 7. 21	8 1.7	2 9	42. 8. 18	5 7.3
1 3	27. 8. 5	8 0.3	3 0	39. 9. 25	5 7.1
1 4	45. 8. 18	7 8.5	3 1	44. 8. 22	5 6.0
1 5	34. 6. 22	7 5.9	3 2	19. 4. 7	5 3.0
1 6	26. 6. 28	7 3.4	3 3	17. 6. 25	4 8.6
1 7	32. 6. 26	7 1.1	3 4	37. 7. 18	4 8.4

高知3時間年最大雨量

別表 1 6

単位 ㎜

順位	年 月 日	3 時間雨量	順位	年 月 日	3 時間雨量
1	S 47. 9. 15	1 8 8.0	1 8	S 18. 7. 15	8 8.0
2	25. 5. 27	1 7 4.4	1 9	33.10. 17	8 3.0
3	43. 8. 16	1 6 4.5	2 0	26. 6. 28	8 1.6
4	20. 8. 25	1 4 5.9	2 1	44. 8. 22	8 0.5
5	29. 6. 29	1 2 9.7	2 2	45. 8. 18	7 8.5
6	23. 8. 26	1 2 7.2	2 3	41. 8. 15	7 7.6
7	31. 9. 25	1 1 6.4	2 4	21. 7. 29	7 7.5
8	34. 6. 22	1 1 0.8	2 5	42. 8. 18	7 6.6
9	40. 9. 15	1 1 0.2	2 6	32. 6. 26	7 5.7
1 0	16. 6. 26	1 0 8.4	2 7	24. 9. 20	7 2.2
1 1	49. 6. 17	9 7.5	2 8	36. 7. 24	7 1.4
1 2	28. 7. 21	9 6.1	2 9	35. 4. 19	6 9.6
1 3	27. 8. 5	9 1.4	3 0	17. 6. 25	6 6.0
1 4	38. 6. 4	9 1.2	3 1	30. 8. 29	6 3.1
1 5	48. 9. 4	8 9.0	3 2	39. 9. 25	6 2.0
1 6	22. 7. 21	8 8.6	3 3	19. 4. 7	5 7.9
1 7	46. 8. 30	8 8.0	3 4	37. 4. 2	5 3.5

高知6時間年最大雨量

別表 17

単位 mm

順位	年 月 日	6 時間雨量	順位	年 月 日	6 時間雨量
1	S 47. 9. 15	2 2 6.0	1 8	S 35. 4. 19	1 1 7.5
2	31. 9. 25	1 8 6.3	1 9	44. 8. 22	1 1 7.0
3	29. 6. 29	1 8 1.7	2 0	24. 9. 20	1 1 5.3
4	25. 5. 27	1 8 1.0	2 1	32. 6. 26	1 1 2.7
5	43. 8. 16	1 6 8.5	2 2	26. 4. 28	1 1 1.8
6	40. 9. 15	1 6 5.3	2 3	33. 10. 17	1 1 1.7
7	20. 8. 25	1 6 1.3	2 4	48. 9. 4	1 1 0.0
8	34. 6. 22	1 5 6.4	2 5	18. 7. 15	1 0 7.4
9	28. 7. 21	1 4 7.5	2 6	17. 6. 25	1 0 2.1
1 0	21. 7. 29	1 4 5.9	2 7	36. 7. 24	1 0 2.0
1 1	41. 8. 15	1 4 1.3	2 8	30. 4. 15	9 4.7
1 2	23. 8. 26	1 3 6.7	2 9	27. 8. 5	9 3.1
1 3	22. 7. 21	1 3 2.6	3 0	45. 7. 8	8 8.5
1 4	46. 8. 30	1 2 8.5	3 1	19. 4. 7	8 4.5
1 5	16. 6. 26	1 2 8.4	3 2	42. 8. 18	7 6.6
1 6	38. 6. 4	1 2 8.0	3 3	37. 4. 2	7 4.6
1 7	49. 9. 8	1 2 1.0	3 4	39. 9. 25	7 3.8

高知 1 2 時間年最大雨量

別表 1 8

単位 mm

順位	年 月 日	1 2 時間雨量	順位	年 月 日	1 2 時間雨量
1	S 31. 9. 25	3 3 4.5	1 8	S 32. 6. 26	1 5 6.5
2	47. 9. 15	2 9 0.5	1 9	35. 4. 19	1 5 2.9
3	21. 7. 29	2 4 6.0	2 0	44. 6. 25	1 5 1.0
4	46. 8. 30	2 3 2.5	2 1	30. 4. 15	1 5 0.8
5	29. 6. 29	2 3 2.2	2 2	19. 4. 7	1 4 9.0
6	41. 8. 15	2 3 1.2	2 3	16. 6. 26	1 4 3.6
7	40. 9. 15	2 1 4.9	2 4	26. 4. 28	1 4 0.5
8	23. 8. 26	2 1 0.0	2 5	38. 6. 4	1 3 8.8
9	22. 7. 21	2 0 5.9	2 6	45. 7. 8	1 3 8.5
1 0	28. 7. 21	1 9 6.1	2 7	37. 4. 2	1 3 4.5
1 1	18. 7. 15	1 8 6.0	2 8	36. 7. 24	1 3 2.1
1 2	25. 5. 27	1 8 3.2	2 9	33. 10. 17	1 3 0.8
1 3	49. 9. 8	1 8 1.5	3 0	17. 6. 25	1 2 9.2
1 4	20. 8. 25	1 7 2.6	3 1	48. 9. 4	1 1 0.0
1 5	43. 8. 16	1 6 9.0	3 2	27. 8. 5	1 0 2.0
1 6	24. 9. 20	1 6 1.9	3 3	42. 7. 9	8 9.9
1 7	34. 6. 22	1 6 1.6	3 4	39. 9. 25	7 9.0

高知24時間年最大雨量

別表 19

単位 ㎜

順位	年 月 日	24時間雨量	順位	年 月 日	24時間雨量
1	S 31. 9. 25	354.3	18	S 18. 7. 15	186.0
2	47. 9. 15	337.5	19	25. 5. 27	184.7
3	46. 8. 30	292.5	20	37. 4. 2	176.0
4	21. 7. 29	291.3	21	20. 8. 25	172.6
5	41. 8. 15	268.2	22	43. 8. 16	169.5
6	40. 9. 15	267.2	23	19. 4. 7	163.3
7	29. 6. 29	254.5	24	34. 6. 22	161.6
8	32. 6. 26	233.0	25	26. 4. 28	160.6
9	23. 8. 26	228.1	26	45. 7. 8	160.5
10	49. 9. 8	225.5	27	44. 6. 25	158.0
11	24. 9. 20	221.9	28	35. 4. 19	155.9
12	22. 8. 26	220.8	29	42. 7. 9	152.0
13	28. 7. 21	217.0	30	16. 6. 26	145.9
14	30. 4. 15	195.3	31	33.10.17	131.4
15	27. 8. 5	194.9	32	17. 6. 25	130.1
16	38. 6. 4	194.0	33	48. 5. 8	126.5
17	36. 7. 24	187.8	34	39. 9. 24	125.7

松山 10 分間年最大雨量

別表 20

単位 ㎜

順位	年 月 日	10 分間雨量	順位	年 月 日	10 分間雨量
1	S 47. 7. 10	20.5	18	S 30. 9. 18	10.4
2	45. 7. 16	17.5	19	29. 6. 29	10.2
3	33. 7. 8	15.5	20	41. 9. 18	10.1
4	38. 8. 30	14.8	21	37.10.11	9.9
5	46. 7. 22	14.5	22	49. 9. 9	8.5
6	42. 7. 9	14.5	23	48. 9. 10	8.5
7	39. 7. 19	14.5	24	32. 7. 6	7.8
8	27. 9. 14	14.1	25	44. 3. 21	7.0
9	35. 7. 4	12.6			
10	26. 5. 22	12.4			
11	34. 7. 11	12.1			
12	28. 9. 17	12.0			
13	25. 9. 7	11.7			
14	40. 7. 18	11.5			
15	31. 7. 1	11.5			
16	36.10.26	11.3			
17	43. 8. 26	11.0			

松山 30 分間年最大雨量

別表 2 1

単位 ㎜

順位	年 月 日	30 分間雨量	順位	年 月 日	30 分間雨量
1	S 33. 7. 8	33.0	18	S 34. 7. 26	16.3
2	38. 8. 30	30.4	19	48. 9. 1	16.0
3	46. 7. 22	28.0	20	39. 6. 25	16.0
4	36.10. 26	27.5	21	37.10. 11	15.8
5	42. 7. 9	25.7	22	29. 6. 30	15.8
6	30. 6. 30	24.9	23	41. 3. 3	14.5
7	35. 7. 4	24.3	24	49. 4. 8	14.0
8	47. 7. 10	24.0	25	44. 6. 29	11.0
9	40. 7. 18	23.5			
10	28. 9. 17	22.5			
11	31. 9. 25	22.4			
12	25. 6. 24	22.0			
13	26. 7. 10	21.3			
14	45. 7. 16	21.0			
15	27.10. 15	20.6			
16	43. 9. 25	16.8			
17	32. 8. 23	16.6			

松山 1 時間年最大雨量

別表 2 2

単位 mm

順位	年 月 日	1 時間雨量	順位	年 月 日	1 時間雨量
1	S 38. 8. 30	5 2.8	1 8	S 49. 4. 8	2 4.5
2	36. 10. 26	5 2.0	1 9	47. 9. 8	2 4.0
3	33. 7. 8	4 0.4	2 0	32. 8. 23	2 4.0
4	40. 7. 18	3 7.6	2 1	45. 7. 16	2 3.5
5	28. 9. 17	3 2.5	2 2	41. 3. 3	2 2.3
6	46. 7. 22	3 2.0	2 3	39. 6. 25	2 1.6
7	42. 7. 9	3 1.4	2 4	44. 6. 29	2 0.5
8	29. 7. 4	2 9.5	2 5	48. 9. 1	1 9.0
9	31. 9. 25	2 9.0			
1 0	37. 8. 9	2 8.5			
1 1	27. 10. 15	2 8.1			
1 2	25. 6. 24	2 7.8			
1 3	30. 6. 30	2 7.4			
1 4	34. 7. 26	2 7.3			
1 5	35. 7. 4	2 6.7			
1 6	26. 7. 12	2 6.4			
1 7	43. 9. 25	2 5.5			

松山 2 時間年最大雨量

別表 2 3

単位 mm

順位	年 月 日	2 時間雨量	順位	年 月 日	2 時間雨量
1	S 36. 10. 26	7 2.2	1 8	S 39. 6. 25	3 0.6
2	40. 7. 18	5 7.2	1 9	49. 4. 8	3 0.5
3	33. 4. 21	5 5.2	2 0	34. 7. 26	3 0.5
4	38. 8. 30	5 3.6	2 1	44. 6. 29	2 8.0
5	29. 7. 4	4 9.1	2 2	30. 6. 30	2 7.4
6	43. 9. 25	3 9.1	2 3	45. 8. 21	2 5.5
7	41. 3. 3	3 8.2	2 4	47. 9. 8	2 4.5
8	35. 9. 20	3 8.0	2 5	48. 6. 26	2 1.5
9	26. 7. 12	3 7.5			
1 0	25. 9. 12	3 7.3			
1 1	37. 8. 9	3 6.5			
1 2	28. 9. 17	3 6.4			
1 3	27. 7. 10	3 5.0			
1 4	42. 7. 9	3 4.7			
1 5	46. 7. 22	3 3.5			
1 6	31. 7. 1	3 3.0			
1 7	32. 8. 23	3 2.6			

松山 3 時間年最大雨量

別表 2 4

単位 ㎜

順位	年 月 日	3 時間雨量	順位	年 月 日	3 時間雨量
1	S 36. 10. 26	7 8.7	1 8	S 39. 6. 25	3 6.1
2	29. 7. 4	7 3.4	1 9	44. 6. 29	3 6.0
3	40. 7. 18	6 6.0	2 0	32. 8. 23	3 4.0
4	33. 4. 21	6 1.5	2 1	45. 8. 21	3 3.5
5	37. 8. 9	5 4.0	2 2	47. 6. 22	3 2.0
6	38. 8. 30	5 3.8	2 3	34. 7. 26	3 1.3
7	43. 9. 25	5 2.5	2 4	30. 4. 15	3 0.6
8	31. 7. 1	5 1.2	2 5	48. 6. 26	2 8.5
9	25. 9. 12	4 9.6			
1 0	26. 7. 12	4 7.7			
1 1	41. 3. 3	4 7.6			
1 2	35. 9. 20	4 6.0			
1 3	27. 7. 10	4 4.6			
1 4	42. 7. 9	4 3.0			
1 5	49. 9. 9	4 1.5			
1 6	28. 6. 25	3 9.0			
1 7	46. 7. 22	3 6.5			

松山 4 時間年最大雨量

別表 2 5

単位 mm

順位	年 月 日	4 時間雨量	順位	年 月 日	4 時間雨量
1	S 36. 10. 26	80.0	1 8	S 44. 6. 29	40.5
2	29. 7. 4	76.9	1 9	46. 7. 22	39.0
3	40. 7. 18	68.6	2 0	45. 8. 21	38.0
4	33. 4. 21	63.2	2 1	30. 4. 15	37.7
5	37. 8. 9	62.6	2 2	39. 6. 25	37.2
6	25. 9. 12	60.4	2 3	32. 8. 23	35.1
7	43. 9. 25	58.0	2 4	48. 6. 26	31.5
8	26. 7. 12	55.2	2 5	34. 7. 26	31.3
9	31. 7. 1	54.9			
1 0	41. 3. 3	54.4			
1 1	38. 8. 30	53.8			
1 2	27. 7. 10	52.8			
1 3	49. 9. 9	50.5			
1 4	35. 9. 20	49.0			
1 5	28. 6. 25	44.8			
1 6	42. 7. 9	44.4			
1 7	47. 6. 22	42.0			

松山 6 時間年最大雨量

別表 2 6

単位 mm

順位	年 月 日	6 時間雨量	順位	年 月 日	6 時間雨量
1	S 29. 7. 4	93.8	18	S 45. 8. 21	51.0
2	36.10.26	82.0	19	30. 4. 15	49.4
3	25. 9. 12	76.3	20	42. 7. 9	45.7
4	49. 9. 9	72.0	21	46. 7. 22	45.0
5	37. 8. 9	71.4	22	34. 8. 11	41.6
6	40. 7. 18	69.9	23	48. 6. 26	40.0
7	33. 4. 21	67.8	24	32. 8. 23	40.0
8	43. 9. 25	67.5	25	39. 6. 25	37.2
9	26. 7. 12	65.6			
10	27. 7. 10	64.3			
11	41. 9. 18	62.8			
12	28. 6. 25	61.9			
13	44. 6. 29	55.5			
14	31. 7. 1	55.1			
15	47. 6. 22	54.0			
16	35. 9. 20	54.0			
17	38. 8. 30	53.8			

松山 1 2 時間年最大雨量

別表 2 7

単位 ㎜

順位	年 月 日	1 2 時間雨量	順位	年 月 日	1 2 時間雨量
1	S 29. 7. 4	111.7	1 8	S 34. 8. 11	65.2
2	25. 9. 12	104.8	1 9	48. 6. 26	62.0
3	28. 6. 25	104.2	2 0	32. 8. 23	58.4
4	41. 9. 18	100.3	2 1	31. 7. 1	55.3
5	40. 7. 18	98.5	2 2	46. 7. 22	54.5
6	27. 7. 10	94.1	2 3	35. 6. 21	54.0
7	36. 10. 26	94.0	2 4	38. 8. 30	53.8
8	49. 9. 9	93.5	2 5	39. 6. 25	49.3
9	43. 7. 2	86.5			
1 0	45. 8. 21	83.5			
1 1	26. 7. 10	81.8			
1 2	30. 4. 15	80.7			
1 3	44. 6. 29	80.5			
1 4	42. 10. 27	74.7			
1 5	37. 8. 9	72.5			
1 6	33. 4. 21	68.4			
1 7	47. 6. 22	67.0			

松山 2 4 時間年最大雨量

別表 2 8

単位 ㎜

順位	年 月 日	2 4 時間雨量	順位	年 月 日	2 4 時間雨量
1	S 28. 6. 25	1 4 2.0	1 8	S 45. 8. 21	8 6.5
2	26. 7. 12	1 3 9.2	1 9	34. 8. 11	8 4.4
3	49. 9. 9	1 3 8.0	2 0	46. 7. 22	7 9.0
4	25. 9. 12	1 3 4.4	2 1	47. 6. 22	7 7.5
5	41. 9. 18	1 3 3.4	2 2	37. 8. 9	7 2.5
6	29. 7. 4	1 2 9.8	2 3	32. 8. 23	7 1.5
7	40. 6. 19	1 1 7.2	2 4	33. 4. 21	6 9.2
8	42. 10. 27	1 1 4.9	2 5	39. 6. 25	6 6.2
9	43. 7. 2	1 1 3.0			
1 0	48. 6. 26	1 1 2.5			
1 1	30. 4. 15	1 1 2.1			
1 2	27. 7. 10	1 0 1.9			
1 3	36. 10. 26	1 0 0.0			
1 4	44. 6. 29	9 9.5			
1 5	31. 9. 25	9 4.6			
1 6	38. 8. 30	9 3.8			
1 7	35. 6. 21	9 1.0			

徳島 10 分間年最大雨量

別表 2 9

単位 ㎜

順位	年 月 日	10分間雨量	順位	年 月 日	10分間雨量
1	S47. 9. 9	25.0	18	S33. 9. 22	13.8
2	49. 7. 6	23.0	19	41.10.12	13.6
3	29. 7. 30	21.7	20	28. 6. 18	12.8
4	45. 8. 21	20.0	21	42. 9. 5	12.1
5	39. 9. 24	20.0	22	32. 8. 23	12.0
6	36. 10. 6	19.0	23	37. 9. 14	11.3
7	30. 6. 30	18.8	24	26. 8. 30	11.0
8	43. 9. 26	18.5	25	44. 9. 7	10.0
9	38. 5. 27	18.1			
10	35. 8. 13	17.7			
11	25. 9. 3	17.5			
12	48. 8. 14	17.0			
13	27. 8. 20	16.7			
14	34. 7. 7	16.2			
15	46. 9. 19	16.0			
16	31. 6. 5	16.0			
17	40. 5. 30	15.0			

徳島 30 分間年最大雨量

別表 30

単位 mm

順位	年 月 日	30 分間雨量	順位	年 月 日	30 分間雨量
1	S 47. 9. 9	51.0	18	S 27. 6. 23	27.9
2	25. 9. 3	50.2	19	41.10.12	26.1
3	49. 7. 6	49.5	20	44. 9. 7	23.4
4	29. 7. 30	44.0	21	30. 7. 7	22.0
5	31. 7. 16	39.0	22	32. 8. 13	20.5
6	40. 9. 14	38.5	23	28. 9. 12	18.0
7	48. 8. 14	38.0	24	37. 9. 14	16.5
8	34. 9. 17	35.5	25	42. 9. 5	15.0
9	45. 8. 21	35.0			
10	43. 9. 26	35.0			
11	26. 8. 30	32.3			
12	39. 9. 24	32.0			
13	35. 7. 24	30.5			
14	36. 10. 6	30.0			
15	38. 6. 4	29.8			
16	46. 9. 21	29.5			
17	33. 9. 22	28.0			

徳島 1 時間年最大雨量

別表 3 1

単位 mm

順位	年 月 日	1 時間雨量	順位	年 月 日	1 時間雨量
1	S 25. 9. 3	86.9	1 8	S 26. 5. 27	38.4
2	47. 9. 9	83.0	1 9	46. 9. 21	33.0
3	49. 7. 6	82.0	2 0	30. 8. 29	31.1
4	29. 7. 30	71.7	2 1	44. 9. 7	29.5
5	45. 8. 21	66.0	2 2	32. 8. 13	27.7
6	31. 7. 16	57.6	2 3	28. 9. 12	25.3
7	35. 4. 19	57.3	2 4	37. 7. 1	25.0
8	27. 6. 23	55.8	2 5	42.10. 27	18.8
9	34. 12. 2	54.5			
1 0	40. 9. 14	52.1			
1 1	36.10. 26	52.0			
1 2	43. 9. 26	51.0			
1 3	41.10. 12	44.1			
1 4	48. 8. 14	43.5			
1 5	33. 8. 23	42.5			
1 6	38. 6. 4	40.5			
1 7	39. 9. 24	39.5			

徳島 2 時間年最大雨量

別表 3 2

単位 ㎜

順位	年 月 日	2 時間雨量	順位	年 月 日	2 時間雨量
1	S 25. 9. 3	1 3 9.3	1 8	S 37. 6. 9	4 5.0
2	49. 7. 6	1 1 9.5	1 9	48. 8. 14	4 5.0
3	47. 9. 9	9 4.0	2 0	39. 9. 24	4 3.9
4	27. 6. 23	8 6.2	2 1	30. 8. 29	4 2.9
5	34. 12. 2	8 0.0	2 2	28. 9. 12	4 1.2
6	38. 6. 4	7 9.0	2 3	44. 8. 22	3 9.0
7	45. 8. 21	7 6.5	2 4	32. 8. 13	3 8.5
8	29. 7. 30	7 6.0	2 5	42. 10. 27	3 6.6
9	40. 9. 14	7 5.0			
1 0	35. 4. 19	7 4.9			
1 1	36. 10. 26	7 0.6			
1 2	31. 7. 16	6 9.9			
1 3	33. 8. 23	6 9.2			
1 4	43. 9. 26	5 8.0			
1 5	26. 5. 27	5 6.3			
1 6	41. 10. 12	5 4.4			
1 7	46. 9. 21	4 5.0			

徳島 3 時間年最大雨量

別表 3 3

単位 ㎜

順位	年 月 日	3 時間雨量	順位	年 月 日	3 時間雨量
1	S 25. 9. 3	1 8 1.9	1 8	S 37. 6. 9	5 7.8
2	49. 7. 6	1 3 2.5	1 9	48. 8. 14	5 5.0
3	27. 6. 23	1 1 1.4	2 0	39. 9. 24	5 1.6
4	47. 9. 9	1 1 1.0	2 1	30. 8. 29	5 1.5
5	29. 7. 30	9 9.9	2 2	44. 8. 22	5 1.0
6	34. 12. 2	9 8.5	2 3	42. 10. 27	5 0.8
7	40. 9. 14	9 8.0	2 4	32. 9. 11	4 7.9
8	35. 4. 19	9 2.7	2 5	28. 9. 12	4 7.4
9	38. 6. 4	9 2.4			
1 0	33. 8. 23	8 8.2			
1 1	45. 8. 21	8 6.0			
1 2	31. 10. 30	8 0.8			
1 3	36. 10. 26	7 8.9			
1 4	43. 9. 26	7 2.5			
1 5	26. 5. 27	7 2.3			
1 6	41. 10. 12	6 4.3			
1 7	46. 9. 21	6 0.5			

徳島 4 時間年最大雨量

別表 3 4

単位 mm

順位	年 月 日	4 時間雨量	順位	年 月 日	4 時間雨量
1	S 25. 9. 3	205.2	1 8	S 46. 8. 30	68.0
2	49. 7. 6	135.0	1 9	48. 8. 14	67.5
3	47. 9. 9	128.5	2 0	37. 6. 9	65.8
4	27. 6. 23	126.2	2 1	42.10.27	62.8
5	40. 9. 14	119.6	2 2	39. 9. 24	58.2
6	29. 7. 30	117.8	2 3	44. 8. 22	58.0
7	38. 6. 4	115.0	2 4	32. 9. 11	57.5
8	33. 8. 23	112.5	2 5	30. 8. 29	55.4
9	35. 4. 19	101.4			
1 0	34. 12. 2	101.2			
1 1	45. 8. 21	93.5			
1 2	31.10.30	92.5			
1 3	36.10.26	82.3			
1 4	43. 9. 26	79.5			
1 5	26. 5. 27	77.1			
1 6	41.10.12	76.7			
1 7	28. 9. 12	72.7			

徳島 6 時間年最大雨量

別表 3 5

単位 mm

順位	年 月 日	6 時間雨量	順位	年 月 日	6 時間雨量
1	S 25. 9. 3	2 2 7.6	1 8	S 48. 8. 14	8 5.0
2	47. 9. 9	1 6 5.0	1 9	28. 9. 12	8 3.3
3	40. 9. 14	1 5 1.2	2 0	42. 10. 27	8 2.5
4	49. 7. 6	1 4 8.5	2 1	37. 6. 9	8 1.7
5	38. 6. 4	1 4 2.1	2 2	39. 9. 24	6 9.7
6	27. 6. 23	1 3 6.2	2 3	32. 9. 11	6 8.8
7	29. 7. 30	1 3 5.2	2 4	44. 8. 22	6 6.5
8	33. 8. 23	1 3 5.0	2 5	30. 8. 29	6 4.1
9	31. 10. 30	1 2 3.2			
1 0	35. 4. 19	1 1 1.6			
1 1	45. 8. 21	1 0 8.5			
1 2	36. 6. 26	1 0 8.4			
1 3	46. 8. 30	1 0 6.0			
1 4	34. 12. 2	1 0 3.0			
1 5	41. 9. 18	1 0 0.6			
1 6	43. 9. 26	9 7.0			
1 7	26. 5. 27	8 6.8			

徳島 1 2 時間年最大雨量

別表 3 6

単位 mm

順位	年 月 日	1 2 時間雨量	順位	年 月 日	1 2 時間雨量
1	S 40. 9. 14	2 4 2.3	1 8	S 35. 4. 19	1 1 7.9
2	25. 9. 3	2 4 1.9	1 9	43. 9. 26	1 1 5.0
3	47. 9. 9	2 2 1.0	2 0	34. 12. 2	1 0 6.5
4	29. 7. 30	2 1 0.6	2 1	48. 8. 14	9 5.5
5	38. 6. 4	1 8 4.9	2 2	26. 5. 27	8 8.0
6	36. 6. 26	1 7 3.8	2 3	30. 8. 29	8 1.5
7	49. 7. 6	1 7 2.5	2 4	32. 9. 11	8 1.0
8	31.10.30	1 5 3.4	2 5	44. 8. 22	7 9.5
9	27. 6. 23	1 5 3.3			
1 0	33. 8. 23	1 5 3.2			
1 1	46. 8. 30	1 4 2.5			
1 2	45. 8. 21	1 3 3.0			
1 3	28. 9. 24	1 3 1.8			
1 4	37. 6. 9	1 2 7.9			
1 5	41. 9. 18	1 2 6.4			
1 6	42.10.27	1 2 5.4			
1 7	39. 9. 24	1 1 9.8			

徳島 2 4 時間年最大雨量

別表 3 7

単位 mm

順位	年 月 日	2 4 時間雨量	順位	年 月 日	2 4 時間雨量
1	S 40. 9. 14	3 5 9.0	1 8	S 37. 6. 9	1 5 4.1
2	47. 9. 9	3 1 7.0	1 9	39. 9. 24	1 4 3.4
3	49. 7. 6	3 0 9.5	2 0	34. 9. 26	1 3 5.6
4	29. 7. 30	2 9 1.3	2 1	35. 4. 19	1 2 8.3
5	25. 9. 3	2 4 2.4	2 2	30. 8. 29	1 1 5.0
6	38. 6. 4	2 3 3.3	2 3	26. 10. 14	1 1 1.3
7	43. 9. 26	2 2 7.5	2 4	32. 9. 11	1 1 0.3
8	28. 9. 24	2 1 3.0	2 5	44. 8. 22	8 9.0
9	33. 8. 23	2 0 6.7			
1 0	27. 6. 23	1 8 9.9			
1 1	36. 6. 26	1 8 3.9			
1 2	46. 8. 30	1 7 7.5			
1 3	41. 9. 18	1 6 2.2			
1 4	42. 10. 27	1 5 9.5			
1 5	48. 8. 14	1 5 7.5			
1 6	45. 8. 21	1 5 6.5			
1 7	31. 10. 30	1 5 4.8			

高 松 年 最 大 日 雨 量

別表 3 8

単位 ㎜

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 47. 9. 16	192.0	26	S 12. 9. 10	88.0
2	40. 9. 10	150.3	27	45. 8. 21	84.0
3	28. 9. 24	142.5	28	15. 8. 25	78.5
4	T 15. 7. 6	142.4	29	41. 9. 17	78.0
5	S 20. 10. 9	140.4	30	38. 6. 4	77.7
6	27. 7. 2	138.2	31	11. 10. 2	72.8
7	25. 8. 6	134.7	32	31. 9. 26	71.3
8	17. 9. 21	129.8	33	43. 7. 28	69.5
9	4. 10. 25	124.0	34	21. 7. 29	69.3
10	16. 8. 14	122.2	35	3. 9. 11	69.0
11	49. 9. 9	120.0	36	26. 7. 14	68.1
12	7. 7. 1	115.4	37	24. 9. 19	68.1
13	46. 8. 30	114.5	38	6. 7. 1	67.0
14	42. 10. 27	113.1	39	2. 8. 1	64.8
15	10. 8. 28	113.0	40	39. 8. 24	63.3
16	36. 9. 4	112.0	41	8. 4. 25	62.0
17	14. 10. 16	111.1	42	37. 6. 9	61.9
18	44. 7. 7	109.0	43	18. 6. 14	60.4
19	9. 8. 12	107.5	44	5. 7. 8	51.0
20	13. 7. 4	106.8	45	22. 6. 24	48.5
21	29. 6. 29	101.7	46	35. 7. 8	47.6
22	33. 8. 24	101.5	47	23. 8. 26	45.1
23	34. 9. 26	97.8	48	30. 2. 27	44.2
24	19. 10. 7	93.1	49	48. 1. 17	32.0
25	32. 7. 18	92.6			

塩江年最大日雨量

別表 3 9

単位 ㎜

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 34. 9. 26	233.4	26	S 14. 10. 16	110.1
2	47. 9. 16	222.0	27	27. 7. 2	107.4
3	24. 7. 30	207.5	28	11. 10. 2	106.0
4	46. 8. 30	183.0	29	5. 7. 8	105.0
5	13. 9. 5	180.1	30	7. 7. 1	100.7
6	39. 9. 24	160.0	31	10. 8. 28	100.0
7	25. 9. 2	152.0	32	17. 9. 20	99.3
8	40. 9. 14	150.0	33	35. 8. 29	98.0
9	42. 10. 27	148.0	34	21. 7. 30	95.0
10	28. 9. 24	145.5	35	4. 8. 15	95.0
11	18. 9. 19	144.5	36	37. 6. 13	91.0
12	9. 9. 20	144.5	37	32. 7. 17	85.0
13	16. 8. 14	143.0	38	26. 10. 14	84.7
14	T 15. 7. 6	140.5	39	41. 9. 18	84.0
15	S 49. 9. 9	140.0	40	3. 9. 11	83.2
16	33. 8. 24	130.0	41	38. 6. 4	81.0
17	45. 7. 5	129.0	42	31. 9. 26	78.9
18	43. 7. 28	125.0	43	12. 9. 10	78.0
19	20. 10. 9	123.6	44	6. 10. 13	76.2
20	19. 10. 7	122.8	45	23. 9. 10	69.2
21	36. 9. 16	117.0	46	30. 10. 3	68.3
22	44. 8. 22	116.0	47	8. 4. 25	60.0
23	15. 8. 25	115.0	48	22. 7. 9	49.5
24	29. 9. 13	113.5	49	48. 4. 26	35.0
25	2. 8. 1	111.4			

別表 4 0

多 度 津 年 最 大 日 雨 量

単位 ㎜

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 20. 10. 9	1 7 7.2	2 6	S 31. 9. 26	7 0.8
2	T 15. 7. 6	1 4 0.5	2 7	8. 6. 25	7 0.5
3	S 22. 7. 9	1 3 7.5	2 8	26. 7. 12	7 0.4
4	35. 7. 7	1 1 9.3	2 9	15. 8. 25	6 9.2
5	7. 7. 1	1 1 9.2	3 0	29. 6. 29	6 5.9
6	47. 8. 21	1 1 6.5	3 1	36. 9. 3	6 5.8
7	49. 9. 9	1 0 5.5	3 2	14. 10. 16	6 4.6
8	9. 7. 12	1 0 4.5	3 3	23. 7. 20	6 0.1
9	40. 9. 17	1 0 2.9	3 4	16. 8. 14	5 9.2
1 0	17. 9. 21	1 0 1.0	3 5	11. 9. 26	5 8.9
1 1	28. 9. 24	9 8.8	3 6	32. 7. 2	5 8.3
1 2	24. 9. 19	9 4.0	3 7	3. 9. 2	5 7.3
1 3	4. 9. 20	9 1.7	3 8	2. 8. 26	5 7.1
1 4	41. 9. 17	9 0.2	3 9	39. 8. 24	5 5.9
1 5	13. 7. 3	8 7.6	4 0	5. 6. 25	5 4.6
1 6	46. 8. 30	8 6.5	4 1	33. 8. 24	5 4.1
1 7	27. 7. 10	8 5.6	4 2	30. 7. 22	5 3.1
1 8	18. 6. 14	8 5.4	4 3	34. 7. 11	5 2.7
1 9	42. 10. 27	8 4.9	4 4	12. 6. 7	5 2.1
2 0	45. 8. 21	8 3.5	4 5	21. 10. 11	5 1.7
2 1	38. 5. 27	7 8.4	4 6	25. 6. 28	4 8.6
2 2	44. 7. 7	7 6.5	4 7	48. 6. 26	4 8.0
2 3	37. 6. 9	7 3.6	4 8	19. 10. 7	4 3.0
2 4	6. 9. 17	7 2.5	4 9	43. 7. 2	3 6.5
2 5	10. 7. 2	7 2.0			

滝 宮 年 最 大 日 雨 量

別表 4 1

単位 ㎜

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 35. 7. 8	189.0	26	S 8. 4. 25	87.0
2	20. 10. 8	187.7	27	45. 7. 5	80.0
3	27. 7. 2	164.0	28	38. 5. 27	79.0
4	28. 9. 24	142.5	29	10. 8. 28	75.8
5	15. 8. 25	138.5	30	12. 9. 10	72.1
6	9. 7. 12	134.5	31	22. 7. 9	71.0
7	46. 8. 30	126.0	32	11. 1. 2	70.1
8	T 15. 7. 6	123.0	33	42. 10. 27	70.0
9	S 14. 10. 16	119.1	34	31. 9. 26	70.0
10	40. 9. 14	118.0	35	36. 9. 3	69.0
11	16. 8. 14	115.5	36	18. 9. 11	64.5
12	17. 9. 20	113.3	37	6. 10. 3	64.0
13	47. 9. 16	112.0	38	37. 10. 4	59.0
14	49. 9. 9	111.0	39	32. 8. 23	58.2
15	29. 6. 29	110.3	40	44. 8. 22	58.0
16	34. 9. 26	101.1	41	3. 6. 24	56.4
17	13. 7. 4	97.3	42	30. 6. 18	52.0
18	26. 7. 13	96.8	43	21. 4. 24	50.9
19	33. 8. 24	96.0	44	2. 4. 3	50.0
20	24. 9. 19	93.0	45	5. 7. 8	49.3
21	7. 7. 1	92.0	46	19. 10. 7	49.0
22	4. 10. 25	92.0	47	39. 9. 24	48.0
23	41. 9. 17	91.0	48	23. 11. 5	46.0
24	25. 9. 2	90.0	49	48. 4. 26	32.0
25	43. 7. 28	88.0			

土 庄 年 最 大 日 雨 量

別表 4 2

単位 釐

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 13. 9. 5	164.2	26	S 21. 7. 30	67.5
2	18. 9. 18	160.3	27	15. 6. 16	67.1
3	32. 8. 23	118.7	28	20. 10. 9	65.8
4	46. 8. 30	115.0	29	44. 7. 7	63.0
5	47. 9. 16	110.0	30	31. 9. 26	62.9
6	24. 7. 30	107.9	31	26. 7. 15	60.1
7	27. 7. 10	106.7	32	45. 4. 24	60.0
8	36. 10. 26	106.0	33	33. 8. 24	60.0
9	40. 9. 14	104.0	34	25. 9. 3	56.0
10	10. 8. 28	102.5	35	41. 6. 3	55.0
11	35. 7. 8	98.0	36	48. 9. 18	53.0
12	34. 8. 11	96.8	37	30. 3. 27	47.8
13	14. 10. 16	92.5	38	19. 10. 7	45.0
14	16. 8. 14	88.7	39	23. 8. 26	35.0
15	43. 7. 30	86.0	40	22. 5. 6	29.5
16	49. 9. 9	81.5			
17	42. 10. 27	79.0			
18	38. 5. 27	79.0			
19	12. 9. 10	77.5			
20	11. 10. 2	77.5			
21	29. 6. 29	74.3			
22	37. 6. 25	72.0			
23	28. 9. 25	71.0			
24	39. 8. 24	70.0			
25	17. 9. 20	68.8			

高知年最大日雨量

別表 4 3

単位 mm

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 31. 9. 25	3 7 1.0	1 8	S 37. 4. 2	1 7 6.0
2	47. 9. 15	3 3 0.0	1 9	43. 8. 16	1 7 5.0
3	21. 7. 29	2 7 6.0	2 0	32. 6. 26	1 7 4.0
4	40. 9. 14	2 6 8.0	2 1	23. 8. 26	1 7 4.0
5	41. 8. 15	2 6 7.0	2 2	20. 8. 25	1 7 4.0
6	29. 6. 29	2 6 3.0	2 3	19. 5. 9	1 6 3.0
7	46. 8. 30	2 2 4.0	2 4	34. 6. 22	1 6 2.0
8	22. 7. 9	2 2 0.0	2 5	26. 4. 28	1 6 0.0
9	28. 7. 20	2 1 8.0	2 6	35. 4. 19	1 5 8.0
1 0	24. 9. 19	2 1 5.0	2 7	44. 6. 25	1 5 3.0
1 1	49. 9. 8	2 0 5.0	2 8	16. 7. 25	1 5 2.0
1 2	38. 8. 9	2 0 3.0	2 9	45. 7. 8	1 4 5.0
1 3	30. 4. 15	1 9 5.0	3 0	33. 10. 17	1 3 0.0
1 4	18. 7. 15	1 9 3.0	3 1	39. 9. 24	1 2 1.0
1 5	25. 5. 26	1 9 2.0	3 2	17. 3. 29	1 1 5.0
1 6	36. 7. 24	1 9 1.0	3 3	48. 9. 4	1 1 0.0
1 7	27. 8. 5	1 9 0.0	3 4	42. 7. 9	9 9.0

本 山 年 最 大 日 雨 量

別表 4 4

単位 mm

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 38. 8. 9	5 1 9.0	1 8	S 26. 10. 14	2 2 0.0
2	21. 7. 29	4 9 1.0	1 9	16. 10. 1	2 0 7.0
3	49. 9. 8	4 3 0.0	2 0	23. 8. 26	1 9 1.0
4	29. 9. 13	3 5 8.0	2 1	30. 8. 29	1 8 1.0
5	45. 8. 21	3 5 2.0	2 2	37. 4. 2	1 7 3.0
6	40. 9. 14	3 2 1.0	2 3	31. 8. 16	1 7 1.0
7	43. 8. 28	3 1 2.0	2 4	24. 8. 17	1 6 5.0
8	20. 9. 17	3 1 1.0	2 5	25. 7. 18	1 6 0.0
9	18. 6. 13	3 1 0.0	2 6	32. 8. 20	1 5 9.0
1 0	47. 9. 7	3 0 0.0	2 7	22. 7. 20	1 5 4.0
1 1	39. 9. 24	2 9 7.0	2 8	35. 8. 29	1 4 3.0
1 2	28. 7. 20	2 9 2.0	2 9	44. 6. 25	1 3 6.0
1 3	42. 7. 9	2 7 8.0	3 0	48. 8. 16	1 3 5.0
1 4	36. 8. 2	2 5 2.0	3 1	34. 11. 1	1 2 9.0
1 5	41. 9. 17	2 3 9.0	3 2	19. 4. 7	1 2 8.0
1 6	46. 8. 30	2 3 8.0	3 3	27. 4. 7	1 2 7.0
1 7	17. 8. 27	2 3 8.0	3 4	33. 8. 24	1 0 4.0

窪川年最大日雨量

別表 4 5

単位 mm

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 38. 8. 19	5 5 0.0	1 8	S 48. 7. 25	1 9 7.0
2	18. 7. 23	3 8 6.0	1 9	32. 9. 24	1 9 6.0
3	47. 6. 7	3 0 3.0	2 0	39. 9. 30	1 9 0.0
4	30. 10. 3	3 0 3.0	2 1	37. 6. 21	1 8 9.0
5	25. 5. 2	3 0 2.0	2 2	34. 11. 1	1 8 9.0
6	43. 9. 24	2 9 8.0	2 3	33. 10. 17	1 8 7.0
7	41. 8. 15	2 8 9.0	2 4	35. 8. 28	1 8 6.0
8	46. 8. 29	2 8 5.0	2 5	42. 6. 9	1 8 0.0
9	36. 10. 26	2 7 1.0	2 6	45. 4. 24	1 7 5.0
1 0	26. 7. 7	2 7 0.0	2 7	27. 6. 23	1 7 5.0
1 1	22. 7. 10	2 6 3.0	2 8	20. 10. 8	1 7 5.0
1 2	21. 7. 29	2 4 7.0	2 9	19. 10. 16	1 6 4.0
1 3	49. 9. 1	2 4 5.0	3 0	28. 5. 28	1 6 2.0
1 4	16. 8. 12	2 4 3.0	3 1	24. 6. 18	1 5 2.0
1 5	40. 9. 9	2 2 0.0	3 2	23. 8. 24	1 5 1.0
1 6	29. 9. 13	2 1 5.0	3 3	17. 9. 21	1 4 4.0
1 7	31. 9. 25	2 1 0.0	3 4	44. 7. 22	1 4 0.0

宿毛年最大日雨量

別表 4 6

単位 mm

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 47. 7. 23	2 8 4.0	1 8	S 31. 9. 25	1 4 1.0
2	18. 7. 22	2 7 3.0	1 9	26. 7. 1	1 4 1.0
3	20. 10. 8	2 3 4.0	2 0	37. 6. 21	1 3 2.0
4	40. 9. 9	2 1 6.0	2 1	36. 9. 15	1 1 2.0
5	21. 7. 28	2 1 6.0	2 2	49. 9. 26	1 0 9.0
6	35. 8. 28	2 1 1.0	2 3	32. 9. 24	1 0 9.0
7	17. 8. 26	2 0 3.0	2 4	23. 8. 25	1 0 6.0
8	38. 8. 8	1 8 9.0	2 5	43. 9. 24	1 0 5.0
9	41. 8. 15	1 8 7.0	2 6	45. 8. 20	1 0 3.0
1 0	48. 5. 7	1 8 5.0	2 7	44. 6. 11	1 0 1.0
1 1	25. 5. 2	1 8 5.0	2 8	27. 6. 23	9 6.0
1 2	46. 8. 29	1 8 3.0	2 9	39. 6. 25	9 5.0
1 3	16. 9. 30	1 8 0.0	3 0	22. 7. 16	9 0.0
1 4	24. 6. 18	1 7 6.0	3 1	28. 8. 30	8 3.0
1 5	29. 9. 12	1 5 6.0	3 2	42. 10. 27	7 9.0
1 6	30. 10. 3	1 5 1.0	3 3	19. 8. 23	7 5.0
1 7	33. 8. 24	1 4 1.0	3 4	34. 5. 22	6 3.0

室戸年最大日雨量

別表 4 7

単位 mm

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 24. 7. 5	4 4 6.0	1 8	S 25. 4. 24	1 7 4.0
2	36. 2. 24	3 0 2.0	1 9	47. 12. 23	1 6 8.0
3	17. 9. 17	2 9 8.0	2 0	16. 6. 5	1 6 7.0
4	41. 5. 21	2 8 9.0	2 1	49. 7. 4	1 6 2.0
5	19. 9. 15	2 6 6.0	2 2	21. 8. 9	1 6 1.0
6	48. 4. 26	2 6 4.0	2 3	32. 5. 19	1 4 7.0
7	29. 6. 22	2 6 0.0	2 4	27. 10. 7	1 4 4.0
8	40. 9. 14	2 4 1.0	2 5	34. 5. 22	1 3 7.0
9	22. 7. 19	2 3 5.0	2 6	37. 10. 11	1 3 6.0
1 0	23. 11. 18	2 2 5.0	2 7	18. 7. 25	1 2 3.0
1 1	45. 5. 6	2 1 8.0	2 8	31. 5. 1	1 1 6.0
1 2	33. 9. 21	1 9 3.0	2 9	42. 8. 21	1 1 4.0
1 3	46. 5. 23	1 8 0.0	3 0	35. 5. 15	1 1 0.0
1 4	30. 7. 23	1 7 9.0	3 1	39. 6. 25	9 9.0
1 5	20. 10. 18	1 7 6.0	3 2	43. 12. 9	9 8.0
1 6	38. 9. 11	1 7 4.0	3 3	44. 7. 4	9 7.0
1 7	28. 9. 22	1 7 4.0	3 4	26. 2. 27	9 4.0

松 山 年 最 大 日 雨 量

別表 4 8

単位 ㎜

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 20. 7. 12	195.0	18	S 23. 8. 26	85.0
2	41. 9. 18	130.0	19	38. 8. 10	83.0
3	29. 7. 4	129.6	20	35. 6. 21	81.0
4	49. 4. 8	129.0	21	47. 6. 22	76.0
5	28. 6. 25	124.8	22	37. 8. 9	76.0
6	26. 7. 13	120.0	23	33. 4. 21	72.0
7	40. 6. 19	117.0	24	48. 6. 26	68.0
8	43. 7. 2	112.0	25	39. 6. 25	67.0
9	30. 4. 15	110.7	26	34. 8. 11	65.0
10	42.10.27	104.0	27	24. 9. 22	63.0
11	44. 6. 29	98.0	28	46. 7. 22	62.0
12	36.10.26	96.0	29	32. 6. 26	59.1
13	27. 7. 2	95.0	30	31. 9. 25	58.8
14	21. 7. 29	89.0			
15	25. 9. 12	88.0			
16	22. 7. 9	88.0			
17	45. 8. 21	87.0			

宇和島年最大日雨量

別表 4 9

単位 ㎜

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 23. 8. 25	2 8 7.0	1 8	S 36. 9. 15	1 2 7.0
2	25. 9. 12	2 6 7.0	1 9	26. 7. 1	1 0 7.0
3	21. 7. 29	2 3 9.0	2 0	44. 8. 22	1 0 0.0
4	29. 9. 13	2 3 3.1	2 1	42. 10. 27	9 6.0
5	38. 8. 9	2 0 4.0	2 2	45. 8. 21	9 5.0
6	47. 7. 23	1 9 0.0	2 3	31. 8. 16	9 3.1
7	30. 9. 29	1 8 5.7	2 4	33. 8. 24	9 0.0
8	32. 9. 6	1 7 1.3	2 5	27. 6. 23	8 7.0
9	40. 9. 17	1 6 7.0	2 6	34. 8. 7	8 2.0
1 0	20. 10. 9	1 6 0.0	2 7	43. 7. 2	8 1.0
1 1	41. 8. 15	1 5 6.0	2 8	49. 9. 1	7 7.0
1 2	22. 7. 8	1 5 2.0	2 9	24. 7. 5	6 4.0
1 3	39. 8. 24	1 5 0.0	3 0	37. 4. 9	5 9.0
1 4	35. 6. 21	1 4 5.0			
1 5	28. 6. 26	1 3 2.3			
1 6	48. 7. 26	1 2 8.0			
1 7	46. 8. 4	1 2 7.0			

新居浜年最大日雨量

別表 5 0

単位 mm

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 49. 9. 8	2 2 8.0	1 8	S 26.10. 14	1 1 0.0
2	36. 9. 15	2 1 2.0	1 9	35. 8. 29	1 0 0.0
3	28. 9. 24	2 0 7.0	2 0	48. 9. 5	9 3.0
4	43. 9. 24	1 9 4.0	2 1	22.10. 19	9 2.0
5	20. 9. 17	1 8 0.0	2 2	25. 9. 2	8 5.0
6	40. 9. 9	1 7 8.0	2 3	29.11. 27	8 4.0
7	39. 9. 24	1 7 3.0	2 4	44.10. 11	8 1.0
8	34. 9. 26	1 5 3.2	2 5	23. 8. 25	7 3.0
9	41. 9. 24	1 5 0.0	2 6	45. 7. 5	7 2.0
1 0	42.10. 27	1 3 8.0	2 7	32. 9. 6	6 9.7
1 1	21. 7. 29	1 3 8.0	2 8	24. 6. 19	6 2.0
1 2	46. 8. 4	1 3 6.0	2 9	37. 6. 9	5 9.0
1 3	47. 6. 7	1 2 9.0	3 0	33. 6. 11	5 3.0
1 4	27. 7. 11	1 2 7.5			
1 5	30. 9. 29	1 1 2.8			
1 6	31. 9. 26	1 1 2.0			
1 7	38. 6. 13	1 1 0.0			

久 万 年 最 大 日 雨 量

別表 5 1

単位 mm

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 20. 10. 9	2 5 0.0	1 8	S 45. 8. 21	1 2 3.0
2	29. 9. 13	2 4 3.0	1 9	42. 10. 27	1 2 1.0
3	46. 8. 4	2 2 6.0	2 0	44. 6. 25	1 1 1.0
4	39. 9. 24	2 2 6.0	2 1	27. 7. 10	1 0 0.0
5	34. 8. 8	2 2 1.0	2 2	33. 4. 22	9 9.0
6	47. 7. 23	2 1 9.0	2 3	37. 7. 5	9 8.0
7	38. 8. 9	2 1 8.0	2 4	48. 8. 15	9 6.0
8	36. 9. 15	1 9 0.0	2 5	31. 10. 30	9 0.0
9	30. 9. 29	1 7 8.0			
1 0	40. 9. 9	1 6 8.0			
1 1	43. 9. 24	1 5 8.0			
1 2	41. 9. 24	1 5 0.0			
1 3	35. 6. 21	1 4 8.0			
1 4	32. 6. 26	1 4 1.0			
1 5	28. 6. 28	1 4 0.0			
1 6	26. 10. 15	1 3 5.0			
1 7	49. 9. 1	1 3 0.0			

長 浜 年 最 大 日 雨 量

別表 5 2

単位 釐

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 25. 9. 13	3 9 1.0	1 8	S 29. 6. 29	8 0.2
2	43. 8. 25	2 6 4.0	1 9	44. 6. 29	8 0.0
3	26. 7. 13	1 8 7.0	2 0	37. 4. 9	7 1.0
4	20. 9. 17	1 5 0.0	2 1	46. 6. 14	7 0.0
5	49. 9. 8	1 3 3.0	2 2	34. 7. 11	7 0.0
6	48. 8. 15	1 3 0.0	2 3	22. 7. 9	6 9.0
7	41. 9. 17	1 2 3.0	2 4	45. 6. 14	6 8.0
8	28. 6. 25	1 2 1.0	2 5	32. 9. 24	6 6.2
9	47. 6. 7	1 1 8.0	2 6	27. 11. 4	5 9.0
1 0	42. 7. 9	1 1 7.0	2 7	33. 3. 25	5 7.0
1 1	36. 9. 15	1 1 5.0	2 8	31. 10. 30	5 5.0
1 2	40. 6. 19	1 1 0.0	2 9	23. 8. 26	4 7.0
1 3	30. 4. 15	1 0 9.5			
1 4	39. 6. 25	1 0 5.0			
1 5	38. 8. 9	1 0 4.0			
1 6	35. 6. 21	8 3.0			
1 7	21. 6. 16	8 2.0			

德島年最大日雨量

別表 5 3

単位 ㎜

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 40. 9. 14	3 0 6.0	1 8	S 39. 9. 24	1 4 1.0
2	47. 9. 8	2 9 7.0	1 9	22. 7. 9	1 3 6.2
3	29. 7. 30	2 7 3.5	2 0	45. 8. 14	1 3 3.0
4	49. 9. 8	2 6 6.0	2 1	21.11.27	1 3 2.5
5	38. 6. 4	2 4 5.0	2 2	28. 9. 24	1 2 9.9
6	25. 9. 3	2 4 1.5	2 3	34. 9. 26	1 2 7.0
7	20. 10. 9	2 2 4.3	2 4	35. 4. 19	1 2 3.0
8	27. 6. 23	2 0 5.1	2 5	26.10.14	1 1 2.5
9	24. 8. 18	1 8 7.1	2 6	48. 8. 15	1 0 5.0
1 0	36. 6. 26	1 8 5.0	2 7	23.11.19	9 2.8
1 1	43. 9. 26	1 7 8.0	2 8	44. 8. 22	8 9.0
1 2	46. 8. 30	1 5 9.0	2 9	32. 9. 11	7 7.8
1 3	37. 6. 9	1 5 7.0	3 0	30. 4. 15	7 4.5
1 4	42.10.27	1 5 6.0			
1 5	31.10.30	1 5 5.4			
1 6	41. 9. 18	1 5 5.0			
1 7	33. 8. 23	1 5 2.4			

富岡年最大日雨量

別表 5 4

単位 mm

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 40. 9. 14	4 0 6.0	1 8	S 32. 4. 11	1 0 3.6
2	41. 9. 18	3 0 0.0	1 9	44. 9. 7	1 0 3.0
3	47. 9. 16	2 7 0.0	2 0	38. 6. 4	9 3.0
4	49. 9. 8	2 3 9.0			
5	31.10.30	2 2 4.4			
6	46. 8. 30	2 1 5.0			
7	36.10.26	2 0 7.0			
8	37. 6. 9	1 8 6.0			
9	43. 7. 28	1 8 5.0			
1 0	34. 9. 26	1 8 3.0			
1 1	33.10.17	1 7 7.8			
1 2	42. 7. 9	1 6 4.0			
1 3	39. 9. 24	1 2 6.0			
1 4	35. 4. 19	1 2 4.4			
1 5	45. 4. 24	1 1 5.0			
1 6	30. 7. 27	1 1 1.3			
1 7	48. 4. 24	1 1 0.0			

池田年最大日雨量

別表 5 5

単位 ㎜

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 49. 9. 8	2 5 3.0	1 8	S 37. 6. 13	1 0 2.0
2	29. 6. 22	1 9 9.5	1 9	22. 7. 9	9 9.5
3	39. 9. 24	1 6 6.0	2 0	43. 7. 28	9 9.0
4	34. 9. 26	1 5 8.0	2 1	38. 8. 9	9 5.0
5	42. 10. 27	1 5 4.0	2 2	33. 7. 2	8 2.2
6	20. 10. 8	1 5 2.2	2 3	30. 6. 30	7 1.8
7	40. 9. 14	1 4 6.0	2 4	35. 7. 7	7 0.0
8	36. 9. 16	1 3 8.0	2 5	23. 7. 5	6 6.4
9	46. 8. 30	1 3 2.0	2 6	32. 4. 26	6 5.9
1 0	47. 9. 16	1 2 6.0	2 7	24. 6. 20	5 8.5
1 1	25. 9. 2	1 2 4.4	2 8	21. 7. 29	5 0.0
1 2	41. 9. 17	1 2 4.0	2 9	44. 8. 22	4 4.0
1 3	28. 9. 24	1 2 2.3	3 0	48. 7. 1	4 2.0
1 4	26. 7. 1	1 1 8.0			
1 5	27. 7. 2	1 1 3.5			
1 6	45. 8. 14	1 1 3.0			
1 7	31. 9. 26	1 0 2.2			

日 和 佐 年 最 大 日 雨 量

別表 5 6

単位 ㎜

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S 41. 8. 15	409.0	1 8	S 46. 8. 30	149.0
2	36. 6. 24	307.0	1 9	31. 9. 25	147.6
3	42. 5. 9	278.0	2 0	37. 6. 9	144.0
4	40. 9. 14	276.0	2 1	39. 9. 24	120.0
5	47. 9. 14	272.0	2 2	35. 8. 12	120.0
6	20. 10. 8	268.0	2 3	26. 6. 28	117.0
7	49. 7. 5	198.0	2 4	32. 9. 11	116.9
8	29. 7. 30	192.9	2 5	28. 9. 24	116.3
9	27. 6. 23	181.3	2 6	38. 6. 3	107.0
1 0	43. 9. 13	177.0	2 7	30. 4. 15	106.0
1 1	33. 9. 15	170.5			
1 2	45. 7. 31	169.0			
1 3	34. 9. 26	163.0			
1 4	44. 1. 31	160.0			
1 5	48. 5. 8	159.0			
1 6	25. 5. 26	155.0			
1 7	21. 7. 29	150.0			

鳴門年最大日雨量

別表 57

単位 mm

順位	年 月 日	日 雨 量	順位	年 月 日	日 雨 量
1	S47. 9. 8	304.0	18	S41. 8. 15	104.0
2	36. 9. 14	259.0	19	30. 8. 28	102.5
3	20. 10. 8	237.5	20	35. 8. 29	102.0
4	38. 6. 4	230.0	21	24. 6. 18	90.8
5	40. 9. 14	221.0	22	32. 6. 26	86.7
6	22. 7. 9	207.6	23	39. 9. 24	84.0
7	46. 8. 30	199.0	24	25.10.30	83.1
8	49. 7. 6	198.0	25	48. 8. 14	79.0
9	42.10.27	184.0	26	23.11.18	74.9
10	43. 9. 25	160.0	27	33. 6. 11	73.2
11	37. 6. 9	154.0	28	26. 7. 12	67.1
12	31. 9. 26	144.5			
13	21.10.11	141.4			
14	28. 9. 25	140.2			
15	27. 4. 8	123.3			
16	34. 9. 26	106.6			
17	29. 9. 25	105.4			

多度津 1 時間年最大雨量

別表 5 8

単位 ㎜

順位	年 月 日	1 時間雨量	順位	年 月 日	1 時間雨量
1	S 23. 7. 20	58.0	1 8	S 28. 9. 17	24.9
2	27. 8. 5	47.8	1 9	48. 8. 24	24.0
3	35. 7. 7	45.6	2 0	46. 7. 22	24.0
4	18. 9. 15	40.9	2 1	38. 7. 8	23.9
5	30. 9. 14	38.5	2 2	36. 7. 9	22.5
6	17. 9. 21	34.6	2 3	33. 7. 2	22.5
7	47. 8. 21	34.0	2 4	34. 7. 11	22.2
8	22. 7. 9	33.6	2 5	37. 6. 9	21.8
9	49. 7. 7	32.5	2 6	31. 6. 5	20.1
1 0	40. 9. 2	32.1	2 7	43. 8. 26	19.5
1 1	41. 9. 5	30.0	2 8	16. 7. 12	18.2
1 2	42. 7. 9	29.5	2 9	19. 9. 7	17.5
1 3	24. 9. 19	29.5	3 0	44. 7. 7	15.5
1 4	45. 8. 21	29.0	3 1	32. 7. 9	15.5
1 5	39. 8. 29	28.2	3 2	21. 6. 27	13.4
1 6	25. 8. 10	27.2	3 3	29. 6. 29	11.6
1 7	26. 9. 26	26.8			

多度津 6 時間 年 最大雨量

別表 5 9

単位 ㎜

順位	年 月 日	6 時間雨量	順位	年 月 日	6 時間雨量
1	S 35. 7. 7	132.1	18	S 36. 9. 3	50.8
2	22. 7. 9	120.0	19	31. 9. 26	49.6
3	20. 10. 9	97.5	20	26. 9. 26	46.8
4	17. 9. 21	84.5	21	29. 6. 29	45.9
5	47. 8. 21	81.5	22	46. 8. 30	43.5
6	27. 7. 2	74.5	23	38. 5. 27	43.5
7	18. 6. 14	69.0	24	40. 9. 14	43.0
8	28. 9. 24	64.0	25	30. 9. 14	38.5
9	23. 7. 20	60.1	26	32. 7. 2	37.9
10	24. 9. 19	60.0	27	25. 8. 10	35.6
11	45. 8. 21	59.0	28	37. 6. 9	34.9
12	44. 7. 7	58.0	29	41. 9. 17	32.5
13	39. 8. 24	55.9	30	48. 8. 24	31.0
14	49. 7. 7	55.0	31	19. 10. 7	30.0
15	33. 7. 2	52.4	32	43. 7. 2	29.5
16	42. 7. 9	51.4	33	21. 6. 10	24.0
17	34. 7. 11	51.0			

多 度 津 中 時 間 確 率

別表 6 0

確 率 年	I_N^1	I_N^6	$\beta_N^1 = \frac{I_N^1}{I_N^6}$	$\beta_N^1 - 1$
2 0 0	6 5.8	2 7.1	2.4 3	1.4 3
1 0 0	6 0.2	2 4.0	2.5 1	1.5 1
8 0	5 8.5	2 3.0	2.5 4	1.5 4
5 0	5 4.7	2 1.0	2.6 0	1.6 0
3 0	5 0.6	1 8.9	2.6 8	1.6 8

降雨強度式の解析

単位 mm/hr

$6 - \beta_N^1$	$b = \frac{6 - \beta_N^1}{\beta_N^1 - 1}$	$a' = 6 + b$	$\beta_N = \frac{a'}{t + b}$	$I_N = \beta_N I_N^6$
3.57	2.50	8.50	$\frac{8.50}{t + 2.50}$	$\frac{230.4}{t + 2.50}$
3.49	2.31	8.31	$\frac{8.31}{t + 2.31}$	$\frac{199.4}{t + 2.31}$
3.46	2.25	8.25	$\frac{8.25}{t + 2.25}$	$\frac{189.8}{t + 2.25}$
3.40	2.13	8.13	$\frac{8.13}{t + 2.13}$	$\frac{170.7}{t + 2.13}$
3.32	1.98	7.98	$\frac{7.98}{t + 1.98}$	$\frac{150.8}{t + 1.98}$

中小河川治水計画における 計画降雨と計画高水に関する研究

(参 考 資 料)

昭和 51 年 8 月

鎌 田 萬

高松 4 時間年最大雨量

別表 61

単位 mm

順位	年 月 日	4 時間雨量	順位	年 月 日	4 時間雨量
1	S 25. 8. 6	120.8	18	S 43. 7.28	43.0
2	47. 9.16	111.5	19	22. 7.15	42.5
3	40. 9.10	98.0	20	35. 8.13	42.3
4	32. 7.18	89.0	21	30. 5.23	41.1
5	36. 9. 4	80.6	22	17. 9.21	40.0
6	45. 8.21	66.0	23	33. 8.24	38.1
7	20.10. 9	65.5	24	24. 7.31	37.5
8	38. 8.28	62.3	25	41. 7. 1	33.7
9	46. 8.30	61.0	26	26. 7.14	33.4
10	27. 7. 2	60.3	27	19. 8.25	33.3
11	28. 9.24	56.7	28	21. 7.29	32.6
12	29. 6.29	56.2	29	31. 8.21	31.3
13	49. 9. 9	50.0	30	18. 6.14	30.0
14	34. 9.26	49.6	31	37. 6. 9	28.0
15	39. 8.24	46.8	32	23. 7.13	24.4
16	44. 7. 7	45.5	33	48. 1.17	15.5
17	42. 7. 9	45.1			

高松 8 時間年最大雨量

別表 62

単位 mm

順位	年 月 日	8 時間雨量	順位	年 月 日	8 時間雨量
1	S 47. 9.16	145.0	18	S 42.10.27	58.9
2	25. 8. 6	132.4	19	43. 7.28	57.5
3	40. 9.10	121.3	20	21. 7.29	54.9
4	20.10. 9	110.0	21	35. 7. 8	50.6
5	36. 9. 4	95.8	22	18. 6.14	50.0
6	28. 9.24	93.0	23	39. 8.24	48.2
7	32. 7.18	89.1	24	24. 9.19	47.7
8	27. 7. 2	87.9	25	22. 7.15	42.5
9	34. 9.26	85.8	26	41. 9.17	42.3
10	46. 8.30	83.5	27	30. 5.23	42.1
11	49. 9. 9	82.0	28	31. 9.26	41.8
12	45. 8.21	74.5	29	26. 7.14	41.1
13	17. 9.21	71.0	30	19.10. 7	36.4
14	29. 6.29	70.4	31	23. 8.26	35.0
15	33. 8.24	69.6	32	37. 6. 9	29.5
16	38. 8.28	69.4	33	48. 1.17	21.0
17	44. 7. 7	60.0			

高知 4 時間年最大雨量

別表 63

単位 mm

順位	年 月 日	4 時間雨量	順位	年 月 日	4 時間雨量
1	S 47. 9.15	204.0	18	S 21. 7.29	100.7
2	25. 5.27	179.4	19	46. 8.30	99.5
3	43. 8.16	167.5	20	18. 7.15	97.9
4	20. 8.25	150.9	21	33.10.17	95.8
5	29. 6.29	148.7	22	27. 8. 5	95.0
6	40. 9.15	138.0	23	24. 9.20	94.2
7	31. 9.25	137.2	24	26. 6.28	93.6
8	23. 8.26	129.3	25	35. 4.19	89.9
9	34. 6.22	127.4	26	36. 7.24	88.0
10	16. 6.26	115.0	27	32. 6.26	84.1
11	22. 7.21	112.5	28	17. 3.29	82.3
12	38. 6. 4	109.0	29	45. 8.18	82.0
13	41. 8.15	108.0	30	42. 7. 9	76.6
14	48. 9. 4	107.0	31	339. 9.25	71.0
15	44. 8.22	106.5	32	30. 4.15	66.3
16	49. 6.17	104.0	33	19. 4. 7	65.8
17	28. 7.21	102.6	34	37. 4. 2	58.0

高知 8 時間年最大雨量

別表 64

単位 mm

順位	年 月 日	8 時間雨量	順位	年 月 日	8 時間雨量
1	S 47. 9.15	266.0	18	S 16. 6.26	136.0
2	31. 9.25	227.6	19	35. 4.19	133.8
3	29. 6.29	191.7	20	49. 9.18	130.0
4	21. 7.29	182.5	21	26. 4.28	126.0
5	40. 9.15	182.0	22	44. 6.25	125.5
6	22. 7.21	181.8	23	33.10.17	120.1
7	25. 5.27	181.5	24	32. 6.26	120.0
8	41. 8.15	174.0	25	30. 4.15	115.5
9	23. 8.26	170.2	26	36. 7.24	114.0
10	43. 8.16	168.5	27	17. 3.29	112.7
11	28. 7.21	167.6	28	45. 7. 8	112.5
12	20. 8.25	167.5	29	48. 9. 4	110.0
13	46. 8.30	167.0	30	37. 4. 2	108.0
14	34. 6.22	161.3	31	19. 4. 7	100.1
15	18. 7.15	159.0	32	27. 8. 5	96.7
16	24. 9.20	145.7	33	42. 7. 9	76.6
17	38. 6. 4	137.0	34	39. 9.25	76.0

松山 8 時間年最大雨量

別表 6 5

単位 mm

順位	年 月 日	8 時間雨量	順位	年 月 日	8 時間雨量
1	S 29. 7. 4	102.4	18	S 31. 7. 1	55.2
2	27. 7.10	89.3	19	34. 8.11	55.1
3	25. 9.12	88.0	20	38. 8.30	54.5
4	49. 9. 9	85.0	21	35. 9.20	54.0
5	36.10.26	82.0	22	46. 7.22	50.0
6	41. 9.18	80.6	23	48. 6.26	44.0
7	28. 6.25	76.7	24	32. 6.24	42.0
8	26. 7.12	75.8	25	39. 6.25	40.7
9	43. 9.25	75.5			
10	40. 7.18	75.0			
11	37. 8. 9	72.0			
12	42. 7. 9	71.6			
13	33. 4.21	68.4			
14	44. 6.29	66.0			
15	45. 8.21	65.5			
16	30. 4.15	61.6			
17	47. 6.22	61.0			

徳島 8 時間年最大雨量

別表 66

単位 mm

順位	年 月 日	8 時間雨量	順位	年 月 日	8 時間雨量
1	S 25. 9. 3	237.2	18	S 42.10.27	96.8
2	40. 9.14	196.4	19	39. 9.24	92.0
3	29. 7.30	171.1	20	48. 8.14	91.5
4	38. 6. 4	170.6	21	26. 5.27	87.2
5	47. 9. 9	167.5	22	28. 9.12	84.2
6	49. 7. 6	153.5	23	32. 9.11	72.6
7	33. 8.23	149.9	24	44. 8.22	69.0
8	27. 6.23	148.3	25	30. 8.29	67.6
9	36. 6.26	142.0			
10	31.10.30	138.8			
11	46. 8.30	130.0			
12	45. 8.21	122.0			
13	41. 9.18	118.5			
14	35. 4.19	116.0			
15	37. 6. 9	115.7			
16	43. 9.26	107.5			
17	34.12. 2	105.4			

四国各地の確率降雨強度の追加

別表 67

単位 $\frac{\text{mm}}{\text{hr}}$

確率年 継続時間	200年	100年	80年	50年	30年	20年	10年	8年	5年	3年	2年
(高松)											
4時間	40.7	35.8	34.3	31.2	27.9	25.4	21.2	19.9	17.2	14.1	11.6
8時間	24.2	21.7	20.9	19.2	17.5	16.1	13.7	12.9	11.3	9.4	7.8
(高知)											
4時間	57.1	52.7	51.3	48.3	45.0	42.4	37.9	36.4	33.1	29.3	25.8
8時間	34.3	32.3	31.6	30.2	28.6	27.3	24.9	24.1	22.3	20.0	17.7
(松山)											
8時間	13.7	13.2	13.0	12.6	12.2	11.8	11.0	10.8	10.1	9.3	8.5
(徳島)											
8時間	31.3	29.5	28.8	27.5	26.0	24.8	22.5	21.7	19.9	17.6	15.4

別表 68

中時間確率降雨強度式形の適合度について

降雨継続時間 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 12.0 時間を採用したときの比較。

(1) 高松決定式形の適合度比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{233.0}{t + 2.47}$			$I_2 = \frac{67.0}{t^{0.50}}$			$I_3 = \frac{67.7}{\sqrt{t} + 0.01}$		
No.	t (時間)	I (mm/hr)	I_1	a_1	%	I_2	a_2	%	I_3	a_3	%
1	0.5	97.4	78.5	-18.9	-19.4	94.8	-2.6	-2.7	94.0	-3.4	-3.5
2	1.0	67.2	67.1	-0.1	-0.1	67.0	-0.2	-0.3	67.0	-0.2	-0.3
3	2.0	47.5	52.1	+4.6	+9.7	47.4	-0.1	-0.2	47.7	-0.2	-0.4
4	4.0	35.8	36.0	+0.2	+0.6	33.5	-2.3	-6.4	33.7	-2.1	-5.9
5	8.0	21.7	22.3	+0.6	+2.8	23.7	+2.0	+9.2	23.8	+2.1	+9.7
6	12.0	15.7	16.1	+0.4	+2.5	19.3	+3.6	+22.9	19.5	+3.8	+24.2
Σ				±24.8	±35.1		±10.8	±41.7		±11.8	±44.0
M				±4.1	±5.9		±1.8	±7.0		±2.0	±7.3

(2) 高知決定式形の適合度比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{268.7}{t+1.15}$			$I_2 = \frac{125.2}{t^{0.67}}$			$I_3 = \frac{77.9}{\sqrt{t}-0.38}$		
No.	t	I	I_1	a_1	%	I_2	a_2	%	I_3	a_3	%
1	0.5	150.4	162.8	+12.4	+ 8.2	199.0	+48.6	+32.3	236.0	+73.2	+48.7
2	1.0	125.1	125.0	- 0.1	- 0.1	125.2	+ 0.1	+ 0.1	125.6	+ 0.5	+ 0.4
3	2.0	82.5	85.3	+ 2.8	+ 3.4	78.7	- 3.8	- 4.6	75.6	- 6.9	- 8.4
4	4.0	52.7	52.2	- 0.5	- 0.9	49.5	- 3.2	- 6.1	48.1	- 4.6	- 8.7
5	8.0	32.3	29.4	- 2.9	- 9.0	31.1	- 1.2	- 3.7	31.8	- 0.5	- 1.5
6	12.0	27.4	20.4	- 7.0	-25.5	23.7	- 3.7	-13.5	25.3	- 2.1	- 7.7
Σ				±25.7	±47.1		±60.6	±60.3		±87.8	±75.4
M				± 4.3	± 7.9		±10.1	±10.1		±14.6	±12.6

(3) 松山決定式形の適合度比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{108.8}{t+0.89}$			$I_2 = \frac{57.7}{t^{0.72}}$			$I_3 = \frac{31.6}{\sqrt{t}-0.45}$		
No.	t	I	I_1	a_1	%	I_2	a_2	%	I_3	a_3	%
1	0.5	75.0	78.3	+ 3.3	+ 4.4	94.6	+19.6	+26.0	121.5	+46.5	+62.0
2	1.0	57.6	57.6	0	0	57.7	+ 0.1	+ 0.2	57.5	- 0.1	- 0.2
3	2.0	37.3	37.6	+ 0.3	+ 0.8	35.0	- 2.3	- 6.2	32.9	- 4.4	-11.8
4	4.0	22.9	22.2	- 0.7	- 3.1	21.2	- 1.7	- 7.4	20.4	- 2.5	-10.9
5	8.0	13.2	12.2	- 1.0	- 7.6	12.9	- 0.3	- 2.3	13.3	+ 0.1	+ 0.8
6	12.0	11.0	8.4	- 2.6	-23.6	9.6	- 1.4	-12.7	10.5	- 0.5	- 4.5
Σ				± 7.9	±39.5		±25.4	±54.8		±54.1	±90.2
M				± 1.3	± 6.6		± 4.2	± 9.1		± 9.0	±15.0

(4) 徳島決定式形の適合度比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{266.5}{t+1.40}$			$I_2 = \frac{110.9}{t^{0.63}}$			$I_3 = \frac{77.4}{\sqrt{t}-0.30}$		
No.	t	I	I_1	a_1	%	I_2	a_2	%	I_3	a_3	%
1	0.5	121.6	140.0	+18.4	+15.1	170.6	+49.0	+40.3	188.8	+67.2	+55.3
2	1.0	110.7	111.0	+0.3	+0.3	110.9	+0.2	+0.2	110.6	-0.1	-0.1
3	2.0	74.9	78.4	+3.5	+4.7	71.5	-3.4	-4.5	69.7	-5.2	-6.9
4	4.0	48.6	49.4	+0.8	+1.6	46.4	-2.2	-4.5	45.5	-3.1	-6.4
5	8.0	29.5	28.4	-1.1	-3.7	29.9	+0.4	+1.4	30.6	+1.1	+3.7
6	12.0	24.7	19.9	-4.8	-19.4	23.2	-1.5	-6.1	24.5	-0.2	-0.8
Σ				±28.9	±44.8		±56.7	±57.0		±76.9	±73.2
M				±4.8	±7.5		±9.5	±9.5		±12.8	±12.2

中時間における確率降雨強度式について

降雨継続時間 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 12.0時間を採用したときの比較。

(1) 高松確率降雨強度式の比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{233.0}{t+2.47}$			$I'_1 = \frac{257.6}{t+2.83}$			$I_2 = 9.6 \left(\frac{2.4}{t} \right)^{2/3}$		
No.	t (時間)	I (mm/hr)	I_1	a_1	%	I'_1	a'_1	%	I_2	a_2	%
1	0.5	97.4	78.5	-18.9	-19.4	77.4	-20.0	-20.5	126.7	+29.3	+30.0
2	1.0	67.2	67.1	-0.1	-0.1	67.3	+0.1	+0.1	80.0	+12.8	+19.0
3	2.0	47.5	52.1	+4.6	+9.7	53.3	+4.8	+10.1	50.4	+2.9	+6.1
4	4.0	35.8	36.0	+0.2	+0.6	37.7	+1.9	+5.3	31.9	-3.9	-10.9
5	8.0	21.7	22.3	+0.6	+2.8	23.8	+2.1	+9.7	20.1	-1.6	-7.4
6	12.0	15.7	16.1	+0.4	+2.5	17.4	+1.7	+10.8	15.3	-0.4	-2.5
Σ				±24.8	±35.1		±30.6	±56.5		±50.9	±75.9
M				±4.1	±5.9		±5.1	±9.4		±8.5	±12.7

(2) 高知確率降雨強度式の比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{268.7}{t+1.15}$			$I'_1 = \frac{425.0}{t+2.40}$			$I_2 = 16.1 \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3}$		
No.	t	I	I_1	a_1	%	I'_1	a'_1	%	I_2	a_2	%
1	0.5	150.4	162.8	+12.4	+ 8.2	146.6	- 3.8	- 2.5	212.5	+62.1	+41.3
2	1.0	125.1	125.0	- 0.1	- 0.1	125.0	- 0.1	- 0.1	134.1	+ 9.0	+ 7.2
3	2.0	82.5	85.3	+ 2.8	+ 3.4	96.6	+14.1	+17.1	84.5	+ 2.0	+ 2.4
4	4.0	52.7	52.2	- 0.5	- 0.9	66.4	+13.7	+26.0	53.5	+ 0.8	+ 1.5
5	8.0	32.3	29.4	- 2.9	- 9.0	40.9	+ 8.6	+26.6	33.6	+ 1.3	+ 4.0
6	12.0	27.4	20.4	- 7.0	-25.5	29.5	+ 2.1	+ 7.7	25.6	- 1.8	- 6.6
Σ				±25.7	±47.1		±42.4	±80.0		±77.0	±63.0
M				± 4.3	± 7.9		± 7.1	±13.3		±12.8	±10.5

(3) 松山確率降雨強度式の比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{108.8}{t+0.89}$			$I'_1 = \frac{183.3}{t+2.18}$			$I_2 = 7.0 \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3}$		
No.	t	I	I_1	a_1	%	I'_1	a'_1	%	I_2	a_2	%
1	0.5	75.0	78.3	+ 3.3	+ 4.4	68.4	- 6.6	- 8.8	92.4	+17.4	+23.2
2	1.0	57.6	57.6	0	0	57.6	0.	0	58.3	+ 0.7	+ 1.2
3	2.0	37.3	37.6	+ 0.3	+ 0.8	43.9	+ 6.6	+18.0	36.8	- 0.5	- 1.3
4	4.0	22.9	22.2	- 0.7	- 3.1	29.7	+ 6.8	+29.7	23.1	+ 0.2	+ 0.9
5	8.0	13.2	12.2	- 1.0	- 7.6	18.0	+ 4.8	+36.4	14.6	+ 1.4	+10.6
6	12.0	11.0	8.4	- 2.6	-23.6	12.9	+ 1.9	+17.3	11.1	+ 0.1	+ 1.0
Σ				± 7.9	±39.5		±26.7	±110.2		±20.3	±38.2
M				± 1.3	± 6.6		± 4.5	±18.4		± 3.4	± 6.4

(4) 徳島確率降雨強度式の比較

100年確率実測値			$I_1 = \frac{266.5}{t+1.40}$			$I'_1 = \frac{494.5}{t+3.47}$			$I_2 = 18.0 \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3}$		
No	t	I	I_1	a_1	%	I'_1	a'_1	%	I_2	a_2	%
1	0.5	121.6	140.0	+18.4	+15.1	124.0	+2.4	+2.0	237.6	+116.0	+95.4
2	1.0	110.7	111.0	+0.3	+0.3	110.6	-0.1	-0.1	149.9	+39.2	+35.4
3	2.0	74.9	78.4	+3.5	+4.7	90.4	+15.5	+20.7	94.5	+19.6	+26.2
4	4.0	48.6	49.4	+0.8	+1.6	66.2	+17.6	+36.2	59.4	+10.8	+22.2
5	8.0	29.5	28.4	-1.1	-3.7	43.1	+13.6	+46.1	37.6	+8.1	+27.5
6	12.0	24.7	19.9	-4.8	-19.4	32.0	+7.3	+29.6	28.6	+3.9	+15.8
Σ				±28.9	±44.8		±56.5	±134.7		±197.6	±222.5
M				±4.8	±7.5		±9.4	±22.5		±32.9	±37.1